

**“EVALUACIÓN GENERAL DE LA SALINIDAD Y MODELACIÓN DE LOS
RIESGOS DE SALINIZACIÓN EN SUELOS DEL VALLE DEL CAUCA”** Uso
práctico del modelo PLA para evaluar el riesgo de salinización en tierras bajo riego
en la parte plana del Valle del Cauca (Colombia)

JORGE ARMANDO RAMÍREZ ALZATE

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
COORDINACIÓN GENERAL DE POSTGRADOS
PALMIRA**

2011

**“EVALUACIÓN GENERAL DE LA SALINIDAD Y MODELACIÓN DE LOS
RIESGOS DE SALINIZACIÓN EN SUELOS DEL VALLE DEL CAUCA”** Uso
práctico del modelo PLA para evaluar el riesgo de salinización en tierras bajo riego
en la parte plana del Valle del Cauca (Colombia)

JORGE ARMANDO RAMÍREZ ALZATE

**Trabajo de grado para optar al título de Magister en Ciencias Agrarias con
Énfasis en Suelos y Aguas – Línea investigación**

DIRIGIDO POR.

Ph.D. EDGAR ENRIQUE MADERO MORALES

Ph.D. RAÚL DARÍO ZAPATA HERNÁNDEZ

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
COORDINACIÓN GENERAL DE POSTGRADOS
PALMIRA**

2011

Nota de aceptación



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE PALMIRA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ACTA DE JURADO DE TESIS

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRARIAS LINEA DE INVESTIGACIÓN SUELOS

En Palmira a los 05 días del mes de Septiembre de 2011, se reunió en esta Sede el Jurado Calificador de Tesis, integrado por los doctores JAVIER JARAMILLO BRAVO y ALVARO GARCÍA

Para calificar la Tesis de Grado de:

JORGE ARMANDO RAMIREZ ALZATE

Titulada:

“EVALUACIÓN GENERAL DE LA SALINIDAD Y MODELACIÓN DE LOS RIESGOS DE SALINIZACIÓN EN SUELOS DEL VALLE DEL CAUCA” bajo la dirección de Edgar Madero Morales, Ph.D. y Raúl Zapata Hernández, Ph.D.

Después de oír el informe del jurado evaluador compuesto por los investigadores JAVIER JARAMILLO BRAVO y ALVARO GARCÍA, y de haber cumplido con el proceso de evaluación, la tesis fue calificada como:

APROBADA ☒

REPROBADA ☐


JAVIER JARAMILLO B.


ALVARO GARCÍA O.

DEDICATORIA

**Dedico este gran esfuerzo a la persona
más importante en mi vida, mi abuela Lilia,
por compartir conmigo su sabiduría, su disciplina,
su honestidad, su entereza y su gran humildad,
a ti abuela con todo mi amor, orgullo y cariño.**

AGRADECIMIENTOS

A lo largo de estos años en la Universidad Nacional, he compartido con los diversos actores de la comunidad universitaria, de los cuales he aprendido muchas cosas, además de recibir su colaboración; a todos ellos quiero agradecerles por su tiempo, colaboración, apoyo y buena disposición para conmigo.

A **Dios** por brindarme la paciencia, sabiduría, entereza y disposición para desempeñarme como un buen estudiante y como todo un profesional de la investigación, dentro de la responsabilidad que atañe la realización de un proyecto de esta importancia.

A mi familia por mostrarme lo esencial e importante que es el conocimiento en la vida de las personas; por toda su entrega emocional e intelectual para que creciera como un gran profesional y una gran persona.

A mi novia Lina Marcela, por su amor, sus consejos y apoyo incondicional en la vida, la academia, la realización de este proyecto y en las épocas difíciles que tuve que sortear en la realización de mi posgrado.

Al profesor Edgar Madero por su amistad, por las oportunidades que me brindó durante mi paso por la Universidad, primero en el pregrado y luego en la maestría; por su apoyo incondicional, por sus consejos y por todo lo que compartió conmigo como el gran consejero académico e intelectual hacia el camino de la ciencia, la investigación, el desarrollo profesional y la vida.

A la Universidad Nacional de Colombia – Sede Palmira por brindarme la posibilidad de crecer como profesional específicamente como investigador al apoyarme con la beca de Posgrado como “Mejor estudiante graduado de Pregrado”, por la financiación y apoyo en la tesis de maestría. Agradecimiento especial al profesor Raúl Zapata por el apoyo en la ejecución de mi tesis y en la realización de los análisis de Laboratorio en la sede Medellín. A Wilmar el laboratorista del laboratorio de suelos de la sede Medellín por su entrega y buena disposición en la realización de los análisis de suelos y por su incondicional acompañamiento durante mi estadía en el laboratorio.

A la Escuela de Posgrados de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, específicamente al profesor Juan Carlos Menjivar, por sus buenos consejos, por su apoyo y por su excelente disposición en mi trasegar como estudiante del posgrado.

A COLCIENCIAS y la Universidad Nacional de Colombia, por hacer realidad mis sueños a través de la beca “Virginia Gutiérrez de Pineda” como Joven investigador e innovador de Colombia.

Expreso por último un agradecimiento especial a CENICAÑA (específicamente al señor Javier Carbonell) y a los ingenios azucareros Rio Paila-Castilla (Ingeniero Ricardo Palomino), San Carlos (Ingeniera Luna Andrade), Carmelita (Ingeniero Aladier), Pichichí (Francisco Sáenz), Providencia (Ingenieros Jorge Herrada y Javier Jaramillo) y Manuelita (Ingeniero Jorge Taffur) por su generosa y oportuna colaboración para la realización de las pruebas y toma de muestras en las haciendas.

La facultad y los jurados de tesis
no se harán responsables de las ideas
emitidas por el autor.

Articulo 24, resolución 04 de 1974

CONTENIDO

pag.

INTRODUCCIÓN	18
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
2. JUSTIFICACIÓN	21
3. OBJETIVOS	22
4. HIPÓTESIS	23
5. MARCO CONCEPTUAL	24
5.1 Generalidades	24
5.2 Características de la zona de estudio	29
5.3 Antecedentes.....	37
5.4 Suelos afectados por sales.....	40
5.5 Aguas de riego.....	46
5.6 Modelo de simulación	47
6. METODOLOGÍA	49
Fase 1 (Descripción de la zona evaluada)	49
Fase 2 (Recopilación de información)	50
Fase 3 (Evaluación de la salinidad).....	53
Fase 4 (Manejo de datos)	53
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
7.1 DIAGNOSTICO GENERAL DE LA SALINIDAD EN LA ZONA DE ESTUDIO	54
7.1.1 Suelos	54
7.1.2 Clima	60
7.1.3 Aguas de Riego.....	63
7.2 DIAGNOSTICO DE LA SALINIDAD POR MUNICIPIO	67
7.2.1 Zarzal	67
7.2.2 Bugalagrande	73
7.2.3 Tuluá	80

7.2.4	San Pedro	86
7.2.5	Buga.....	92
7.2.6	Guacarí	97
7.2.7	El Cerrito	102
7.3	DIAGNOSTICO DE LA SALINIDAD MODELADA CON SALSODIMAR Y COMPARACIÓN CON LA SALINIDAD REAL.....	108
8.	PRECISIÓN DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA EN EL LABORATORIO .	112
9.	CONCLUSIONES.....	115
	BIBLIOGRAFÍA	118
	ANEXOS.....	121

LISTA DE TABLAS

pag.

Tabla 1: Solubilidad de algunas sales	28
Tabla 2: Distribución de las características del paisaje en el Valle del Cauca	33
Tabla 3: Distribución de las características de los suelos del Valle del Cauca.....	34
Tabla 4: Salinidad del extracto del suelo saturado, a partir del cual disminuye el rendimiento (a) y porcentaje de declinación del rendimiento por unidad de incremento en la conductividad eléctrica en el extracto (b).	43
Tabla 5: Características analizadas en laboratorio	53
Tabla 6: Descripción general de la salinidad superficial en el Valle del Cauca.	54
Tabla 7: Descripción general de la salinidad en profundidad en el Valle del Cauca.	57
Tabla 8: Distribución histórica del régimen de humedad en el Valle del Cauca (zona de muestreo).....	60
Tabla 9: Distribución histórica del régimen de humedad en el Valle del Cauca por municipios (zona de muestreo).....	62
Tabla 10: Comportamiento general de los iones, el pH, C.E y RAS en el agua de riego de la zona evaluada.....	64
Tabla 11: Descripción general de la salinidad superficial en el municipio de Zarzal.	67
Tabla 12: Descripción de la salinidad en profundidad en el municipio de Zarzal. .	70
Tabla 13: Descripción general de la salinidad superficial en el municipio de Bugalagrande.....	73
Tabla 14: Descripción de la salinidad en profundidad en el municipio de Bugalagrande.....	76
Tabla 15: Descripción general de la salinidad superficial en el municipio de Tuluá.	80
Tabla 16: Descripción de la salinidad en profundidad en el municipio de Tuluá. ..	83
Tabla 17: Descripción general de la salinidad superficial en el municipio de San Pedro.	86
Tabla 18: Descripción de la salinidad en profundidad en el municipio de San Pedro.	89
Tabla 19: Descripción general de la salinidad superficial en el municipio de Buga.	92
Tabla 20: Descripción de la salinidad en profundidad en el municipio de Buga. ...	94

Tabla 21: Descripción general de la salinidad superficial en el municipio de Guacarí.....	97
Tabla 22: Descripción de la salinidad en profundidad en el municipio de Guacarí.....	99
Tabla 23: Descripción general de la salinidad superficial en el municipio de El Cerrito.....	102
Tabla 24: Descripción de la salinidad en profundidad en el municipio de El Cerrito.....	105
Tabla 25: Comparación entre el modelo y el resultado real de la zona	108
Tabla 26: Comparación entre el modelo y el resultado real por municipio	109
Tabla 27: Comparación de la Suma de Cationes Vs Suma de Aniones.....	112
Tabla 28: Comparación de la C.E Vs Suma de Cationes	113

LISTA DE FIGURAS

	pag.
Figura 1: Proceso de pérdida de electrón del sodio (Na), Tomado de Brown 2009	25
Figura 2: Formación del compuesto iónico NaCl, Tomado de Brown 2009	26
Figura 3: Ubicación de la parte plana del Valle del Cauca	30
Figura 4: Distribución del balance hídrico y la evapotranspiración media anual en el Valle del Cauca (adaptado de Carbonell et. al 2001)	32
Figura 5: Modelo Predictivo (ZAPATA, 2004)	48
Figura 6: Localización de la zona de estudio en el Valle del Cauca. (Fuente Google Earth 2010).....	50
Figura 7: Labores realizadas en campo durante la recolección de las muestras y la información de campo.....	51
Figura 8: Pretratamiento de las muestras de suelos analizadas.	52
Figura 9: Manejo de calidad de las muestras de suelos analizadas y muestreo de las aguas de riego en campo (Carbonatos y bicarbonatos).....	52
Figura 10: Descripción general de la conductividad eléctrica y el pH en superficie.	55
Figura 11: Descripción general de la R.A.S. y el P.S.I. en superficie.	56
Figura 12: Descripción general en profundidad de la C.E y el pH.....	58
Figura 13: Descripción general en profundidad de la RAS y el PSI	59
Figura 14: Distribución gráfica de la precipitación y evapotranspiración en la parte plana del Valle del Cauca (zona de muestreo)	61
Figura 15: Descripción general de las fuentes de agua de riego	63
Figura 16: Descripción general de la conductividad eléctrica y el pH en lo suelos.	65
Figura 17: Relación de iones en el agua de riego.	66
Figura 18: Descripción en el municipio de Zarzal de la conductividad eléctrica y el pH en superficie.	68
Figura 19: Descripción en el municipio de Zarzal de la R.A.S. y el P.S.I. en superficie.	69
Figura 20: Descripción en profundidad de la C.E y el pH, en el municipio de Zarzal.	71
Figura 21: Descripción en profundidad de la RAS y el PSI, en el municipio de Zarzal.	72

Figura 22: Descripción en el municipio de Bugalagrande de la conductividad eléctrica y el pH en superficie.	73
Figura 23: Descripción en el municipio de Bugalagrande de la R.A.S. y el P.S.I. en superficie.	74
Figura 24: Descripción en profundidad de la C.E y el pH, en el municipio de Bugalagrande.....	77
Figura 25: Descripción en profundidad de la RAS y el PSI, en el municipio de Bugalagrande.....	78
Figura 26: Descripción en el municipio de Tuluá de la conductividad eléctrica y el pH en superficie.	80
Figura 27: Descripción en el municipio de Tuluá de la R.A.S. y el P.S.I. en superficie.	81
Figura 28: Descripción en profundidad de la C.E y el pH, en el municipio de Tuluá.	84
Figura 29: Descripción en profundidad de la RAS y el PSI, en el municipio de Tuluá.....	85
Figura 30: Descripción en el municipio de San Pedro de la conductividad eléctrica y el pH en superficie.	86
Figura 31: Descripción en el municipio de San Pedro de la R.A.S. y el P.S.I. en superficie.	87
Figura 32: Descripción en profundidad de la C.E y el pH, en el municipio de San Pedro.	90
Figura 33: Descripción en profundidad de la RAS y el PSI, en el municipio de San Pedro.	91
Figura 34: Descripción en el municipio de Buga de la conductividad eléctrica y el pH en superficie.	92
Figura 35: Descripción en el municipio de Buga de la R.A.S. y el P.S.I. en superficie.	93
Figura 36: Descripción en profundidad de la C.E y el pH, en el municipio de Buga.	95
Figura 37: Descripción en profundidad de la RAS y el PSI, en el municipio de Buga.	96
Figura 38: Descripción en el municipio de Guacarí de la conductividad eléctrica y el pH en superficie.	97
Figura 39: Descripción en el municipio de Guacarí de la R.A.S. y el P.S.I. en superficie.	98
Figura 40: Descripción en profundidad de la C.E y el pH, en el municipio de Guacarí.	100

Figura 41: Descripción en profundidad de la RAS y el PSI, en el municipio de Guacarí.	101
Figura 42: Descripción en el municipio de El Cerrito de la conductividad eléctrica y el pH en superficie.	102
Figura 43: Descripción en el municipio de El cerrito de la R.A.S. y el P.S.I. en superficie.	103
Figura 44: Descripción en profundidad de la C.E y el pH, en el municipio de El Cerrito.	106
Figura 45: Descripción en profundidad de la RAS y el PSI, en el municipio de El Cerrito.	107

LISTA DE ANEXOS

	pag.
Anexo A: Base de datos de la evaluación de suelos en campo.....	121
Anexo B: Base de datos del agua de riego de la zona de estudio.....	132
Anexo C: Base de datos y gráficas complementarias del clima de la zona de estudio	135
Anexo D: Base de datos del drenaje de la zona de estudio.....	139
Anexo E: Base de datos completa de los resultados arrojados por el modelo....	142

RESUMEN

La investigación se desarrolló basándose en evidencias y estudios previos de salinidad. Se muestrearon 100 suelos y aguas de riego utilizados en caña de azúcar entre los municipios de Zarzal y El Cerrito. Los suelos a cuatro profundidades (0-20, 20-40, 40-60, 60-80 cm.) y las aguas de riego de diferentes fuentes. Tanto en las aguas como en los extractos de saturación se determinó pH, conductividad eléctrica (C.E.), calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), potasio (K^+), sodio (Na^+), cloruros (Cl^-), sulfatos ($\text{SO}_4^{=}$), carbonatos (CO_3^-) y bicarbonatos (HCO_3^-), para la evaluación de salinidad actual. Adicionalmente se obtuvo información de permeabilidad y niveles freáticos a través de pruebas de infiltración en campo e información del estudio semidetallado (IGAC de 1979 y 2004), y el clima histórico mensual de CENICAÑA (Base de datos - Red Meteorológica Automatizada), para la valoración del planteamiento teórico de Ildefonso Pla, que ayuda en la predicción de la salinidad y sodicidad. Los resultados indicaron niveles bajos de sales tanto en superficie como en profundidad, sin embargo se presentaron algunos problemas localizados de concentraciones relativamente altas de magnesio, sodio y bicarbonatos; El planteamiento teórico tuvo una predicción significativamente buena de la evaluación real (cerca al 80%). El clima resultó semiárido con déficit de humedad en 8 meses del año, y la LPC promedió estuvo entre los 120 y 365 días; así mismo, las aguas de riego en general poseían una baja concentración de sales, y los suelos presentaron drenajes de variables a buenos (1 – 50 mm/h).

Palabras claves: salinidad, planteamiento teórico, aguas de riego, caña de azúcar.

SUMMARY

The research was developed based on evidence and previous studies of salinity. We sampled 100 soil and irrigation water used in sugar cane between the towns of Zarzal and El Cerrito. The soil at four depths (0-20, 20-40, 40-60, 60-80 cm.) And irrigation water from different sources. Both in water and in the saturation extracts was determined pH, electrical conductivity (EC), calcium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), potassium (K^+), sodium (Na^+), chloride (Cl^-), sulfate (SO_4^{2-}), carbonate (CO_3^{2-}) and bicarbonate (HCO_3^-), for the evaluation of current salinity. Further information was obtained from permeability and groundwater levels through penetration testing and information in the field of semi-detailed study (IGAC, 1979 and 2004), and monthly historical climate CENICAÑA (Database - Automated Weather Network) for the assessment of Ildefonso Pla theoretical approach, which helps in the prediction of salinity and sodicity. The results indicated low levels of salts in both area and depth, however there were some localized problems of relatively high concentrations of magnesium, sodium and bicarbonates; The theoretical prediction was significantly better evaluation of real (about 80%). The climate was semiarid with moisture deficits in 8 months, and LPC was averaged between 120 and 365 days, likewise, irrigation water generally had low salt concentration, and soil variables showed drains good (1 - 50 mm / h).

Keywords: salinity, theoretical approach, irrigation water, cane sugar.

INTRODUCCIÓN

Los suelos afectados por sales (considerados como suelos salinos) como uno de los problemas de degradación ambiental mundial, deben ser observados como una complicación en la dinámica y el equilibrio del sistema suelo; por tal motivo la FAO (FAO, 1988) ha señalado que los problemas de degradación de suelos son una grave amenaza para el bienestar de la humanidad. Adicionalmente se debe establecer que dichos problemas de degradación se han visto agravados principalmente por el incremento poblacional mundial, que ha llevado al uso sistemático de los recursos naturales (entre ellos el suelo), acelerando considerablemente los procesos de degradación en la mayoría de las culturas, como consecuencia del aumento en la producción de alimentos, de bienes y servicios entre otros.

Los problemas de acumulación de sales en suelos se observan principalmente en zonas ubicadas en regiones áridas y semiáridas, en donde casi el 50 % de las tierras bajo riego presentan algún grado de salinización del suelo (FAO), sin embargo la FAO ha establecido que en zonas con climas sub-húmedos también pueden presentarse dichos problemas. Adicional al factor clima se debe considerar que otros factores como el tipo de material parental, el relieve y las prácticas culturales (erradas prácticas de riego) influyen en la generación de suelos salinos.

La acumulación de sales en el suelo genera problemas para el crecimiento de las plantas, como consecuencia del incremento en la presión osmótica, lo que les impide extraer los nutrientes normalmente, llevando a la planta a generar esfuerzos energéticos adicionales para la extracción, dejando de lado el crecimiento; esto puede traer repercusiones de consideración para el agricultor, debido a que los problemas de salinidad generan gastos adicionales (de mitigación, adaptación o compensación), haciendo que este pierda competitividad, arrastrando con él impactos económicos, sociales y ambientales negativos.

Los suelos de las terrazas medias de la parte plana del Valle del Cauca se encuentran clasificados dentro de los más productivos de Colombia, sin embargo dichos suelos se encuentran en zonas con condiciones climáticas en donde si no se realiza un buen manejo de la calidad del agua riego, las practicas de laboreo (arado, cosecha con maquina) y de los fertilizantes, puede llegar a existir un riesgo de salinización; riesgo que acarrea una gran preocupación por el impacto que este tipo de contaminación pueda llegar a generar en el departamento, específicamente en el sector azucarero, el cual es quién en mayor proporción da uso a los suelos para su actividad agroindustrial. Anteriormente se han hecho algunas estimaciones de la salinidad que se presenta en el Valle del Cauca, por ejemplo la CVC, ejecutó un proyecto entre los años 1989 y 1995, en el cual realizó cerca de 2000 muestreos a lo largo de la parte plana del departamento en donde evaluaron diversos indicadores como C.E., pH, iones intercambiables entre otros (en algunos puntos iones solubles); en donde se pudo establecer que algunas zonas como la del RUT (Roldanillo, Toro, La Unión) y los tramos comprendidos entre El Cerrito y Palmira tienen problemas de afección por sales, lamentablemente dicho estudio no tuvo ningún tipo de divulgación. Otros autores como García (1991, 2002), Madero (2004), y Frye (1959) entre otros, también han trabajado en torno a la salinidad de suelos en el Valle del Cauca.

Esta tesis bajo la dirección del grupo “indicadores sencillos de degradación de suelos” propuso evaluar la salinidad actual y la modelación del riesgo que puede existir para los suelos del Valle del Cauca; primero, la salinidad actual se estimó teniendo en cuenta indicadores como C.E (dS/m), iones solubles y pH en cuatro profundidades, luego la modelación del riesgo que puede existir se evaluó mediante la combinación de dos herramientas, un S.I.G. y un modelo de simulación propuesto por ILDEFONSO PLA (PLA, 1979), el cual estima el grado de salinidad o sodicidad que puede llegar a tener un suelo con base en la calidad del agua de riego, las condiciones hidrológicas y las condiciones climáticas.

Los alcances de esta investigación pretenden generar una mirada general al problema de salinidad que existe en suelos de la parte plana del Valle del Cauca, como documento clave en el diagnostico y como guía para los agricultores del departamento, mediante la elaboración de mapas y de una metodología clara y sencilla para la evaluación, sin embargo cabe aclarar que las limitaciones del estudio están en que no se evaluó toda la parte plana (Solo desde Zarzal hasta El Cerrito inmediaciones con Palmira).

Se espera que la investigación genere en los agricultores del departamento un impacto positivo en el conocimiento de la salinidad en la región y que esto lleve en un avance técnico y científico en la toma de decisiones en la industria azucarera del Valle del Cauca.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Bajo condiciones de climas áridos y semiáridos imperantes en varias zonas del Valle del Cauca (CARBONELL, AMAYA, ORTIZ, TORRES, QUINTERO, & ISAACS, 2001), con suelos de alta saturación de bases (CODAZZI & CVC, 2004) con algunas aguas de riego de alto potencial de sódico (MADERO, 2004), con manejos de cosecha mecanizados que pueden llevar a una disminución en la calidad del drenaje (PANTOJA, 2002), se dan las condiciones requeridas para generar un alto riesgo de contaminación de suelos y aguas por sales de diferente índole.

Adicionalmente los agricultores de la zona de estudio, manifiestan hace varios años que los rendimientos de algunas cosechas han decrecido (como en 1995) a pesar de que el manejo de los cultivos (labranza, fertilización, riego-drenaje, control fitosanitario y variedades utilizadas) se han mantenido sin cambios o se han mejorado, como sucedió en 1995 donde la producción de caña de azúcar presentó un descenso del 16.3 % con respecto al año anterior, adicionalmente esa tendencia se mantuvo tanto en 1996 como en 1997 (CENICANA, 1997). Este es un indicador claro que existe un desequilibrio en el sistema suelo que está llevando a la disminución en los rendimientos. También es conocido que la influencia de la calidad del agua de riego, puede estar influenciando de manera negativa el suelo, debido principalmente a que no se hace una evaluación de las aguas de riego antes y después de ser utilizadas, pasando por alto el balance de la cantidad y tipo de iones que entran y salen del sistema (MADERO M. E., 2008).

2. JUSTIFICACIÓN

Las consecuencias de que las tierras de mejor calidad agrícola se tornen salinas, es preocupante por las implicaciones que esto puede tener en muchos ámbitos, por ejemplo: generación de problemas de productividad, costos de manejo de los cultivos y contaminación de suelo y aguas por sales, lo que en definitiva puede llevar a un impacto negativo en lo social (seguridad alimentaria y empleo), económico y ambiental, por la generación de costos de producción muy altos tanto para los grandes como para los pequeños agricultores, que les resta competitividad nacional e internacional.

El riesgo de salinización al no estar evaluado en el Valle del Cauca, genera mayor vulnerabilidad para los agricultores, ya que no tienen una percepción clara del problema ambiental al cual se pueden estar enfrentando, al no existir una cartografía clara de la posible problemática con información concreta; además, en el país no se tiene una cultura de prevención en torno a este tipo de problemas de degradación de suelos, porque no se evalúa químicamente la solución del suelo ni el agua de riego de una manera integrada con el clima, de tal forma que se adopten como componentes estratégicos de fertilidad de suelos para formular prácticas de fertilización y de manejo.

Por lo tanto, compete a la Universidad Nacional de Colombia a través de sus grupos de investigación, como parte de su misión institucional, evaluar el estado de los recursos naturales suelo y agua especialmente en las regiones más productivas, y en lo posible generar conciencia ambiental al respecto, con base en los resultados alcanzados.

3. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Realizar el diagnóstico general de los suelos afectados por sales y establecer de qué forma la modelación de un planteamiento teórico de los riesgos salinización y sodificación está relacionada con la situación actual en suelos de la parte plana del Valle del Cauca.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el estado actual de salinidad y sodicidad en superficie y en profundidad que presentan los suelos de la parte plana del Valle del Cauca, utilizando como indicadores los iones solubles, la R.A.S. la C.E y el pH.
- Valorar el estado actual de la calidad de las aguas de riego que son utilizadas para las labores de riego de los cultivos de caña de azúcar en el Valle del Cauca.
- Realizar la modelación de los riesgos de salinización que existen en los suelos del Valle del Cauca a través de la predicción del planteamiento teórico de Idelfonso PLA y compararlos con los resultados obtenidos en la evaluación general.

4. HIPÓTESIS

La mayoría de los suelos evaluados de la parte plana del Valle del Cauca no tienen niveles de salinidad y sodicidad fuertes, sin embargo poseen rangos de salinidad que si no son manejados adecuadamente pueden generar una problemática, debido a que muchos de los suelos del Valle del Cauca tienden a ser básicos, como consecuencia de la influencia del material parental que dio origen a estos suelos, además de la influencia de las aguas de riego (frecuente e intensiva) con durezas altas (bicarbonatos de calcio, sodio y magnesio), clima semiárido y problemas relacionados con el drenaje .

El planteamiento teórico de Idelfonso Pla (PLA, Calidad y uso de agua para riego, 1979), tendrá un nivel de confianza medio alto en su predicción (aproximadamente entre un 60 y 70 %), lo cual va a llevar a una buena coincidencia con lo encontrado en la evaluación general realizada en campo y laboratorio; esta buena predicción se fundamenta en que el planteamiento teórico considera parámetros de calidad de agua de riego, drenaje del suelo y clima de la zona de estudio, los cuales son factores de gran importancia que influyen la formación de salinidad y sodicidad en los suelos.

5. MARCO CONCEPTUAL

5.1 Generalidades

Los conceptos en torno a la salinidad de suelos, están directamente relacionados con la química en general, donde las evaluaciones se realizan con base en conceptos como: Iones, sales, conductividad eléctrica, pH, solubilidad, equilibrio químico entre otros; por esta razón este literal intenta brindar una introducción y un apoyo para la correcta comprensión de estos conceptos dentro de la investigación.

pH

El pH establece la concentración de iones H^+ y OH^- , por lo tanto la acidez o alcalinidad en el suelo (específicamente en la solución) se determina cuantificando la concentración de H^+ u OH^- del extracto de saturación y se expresa con el potencial de hidrógeno (pH). Este se define como el logaritmo negativo de la concentración de iones H^+ como lo muestra la ecuación:

$$pH = \log \frac{1}{(H^+)}; = -\log(H^+)$$

El pH es una equivalencia de iones H^+ y OH^- . Un aumento de iones H^+ lleva a valores de pH bajos (ácidos), mientras que un aumento de OH^- conlleva a la alcalinidad, es decir valores más altos de pH (LORA, 2010) .

C.E. (conductividad eléctrica)

La conductividad eléctrica es y ha sido el parámetro más extendido y el más ampliamente utilizado en la estimación de la salinidad en los suelos (en el extracto de saturación). Se basa en la velocidad con que la corriente eléctrica atraviesa una solución salina, la cual es proporcional a la concentración de sales en solución. Hasta hace unos años se expresaba en mmhos/cm, hoy en día las medidas se expresan en dS/m (dS=deciSiemens), siendo ambas medidas equivalentes (1 mmhos/cm = 1 dS/m). Por tanto la Ces (conductividad eléctrica en el extracto de saturación) refleja directamente la concentración de sales solubles en la solución de suelo (DORRONSORO).

Iones

Los procesos químicos no generan cambios en el núcleo de un átomo, pero los átomos si suelen presentar algunos cambios como por ejemplo la ganancia o pérdida de electrones, en ese momento se convierte en una partícula llamada ión; por ejemplo, si el átomo gana un electrón se le denomina anión y este queda con una carga negativa, si por el contrario pierde un electrón se denomina catión y queda con una carga positiva.

Por ejemplo: observando el átomo de sodio (Na) que tiene 11 protones y 11 electrones (en su estado neutro); este átomo tiene la tendencia a perder un electrón con facilidad, entonces una vez pasa esto, el átomo se denomina ahora catión, en donde como resultado de su pérdida cuenta con 11 protones y 10 electrones, este catión queda con una carga neta de +1 y se representa como Na^+ como se observa en la figura 1 (BROWN, 2009).

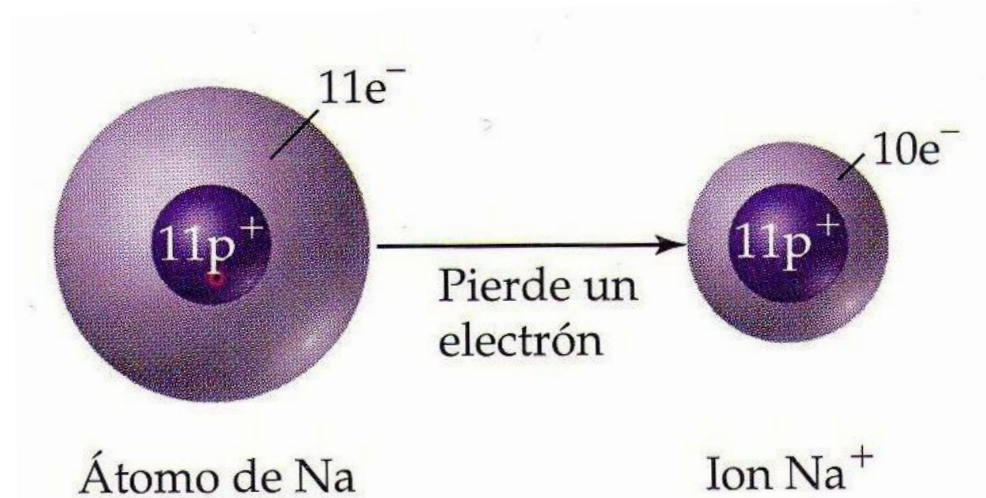


Figura 1: Proceso de pérdida de electrón del sodio (Na), Tomado de Brown 2009

En general en el suelo los iones se encuentran disociados si están en presencia de agua (algunas veces también precipitados o retenidos) y en estos se pueden encontrar cationes como Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , y aniones como Cl^- , PO_4^{3-} , SO_4^{4-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- , todo esto con objetivos diversos entre los que podemos encontrar: fuente de nutrientes para las plantas y organismos del suelo, regulación de pH, mantenimiento de la estructura entre otros (SPOSITO, 1989).

Compuestos iónicos (sales)

La actividad química como se observó en el concepto anterior involucra el intercambio o transferencia de electrones entre las sustancias, por ejemplo, como se muestra en la figura 2 cuando el sodio (Na) reacciona con el cloro (Cl), este transfiere un electrón de su átomo neutro hacia el átomo neutro de cloro, produciéndose de esta forma dos iones Na^+ y Cl^- ; estos iones se atraen como consecuencia de sus cargas, produciendo cloruro de sodio (NaCl), el cual es una de las sales que se pueden encontrar en los suelos y que comúnmente es conocida como sal de mesa. (BROWN, 2009)

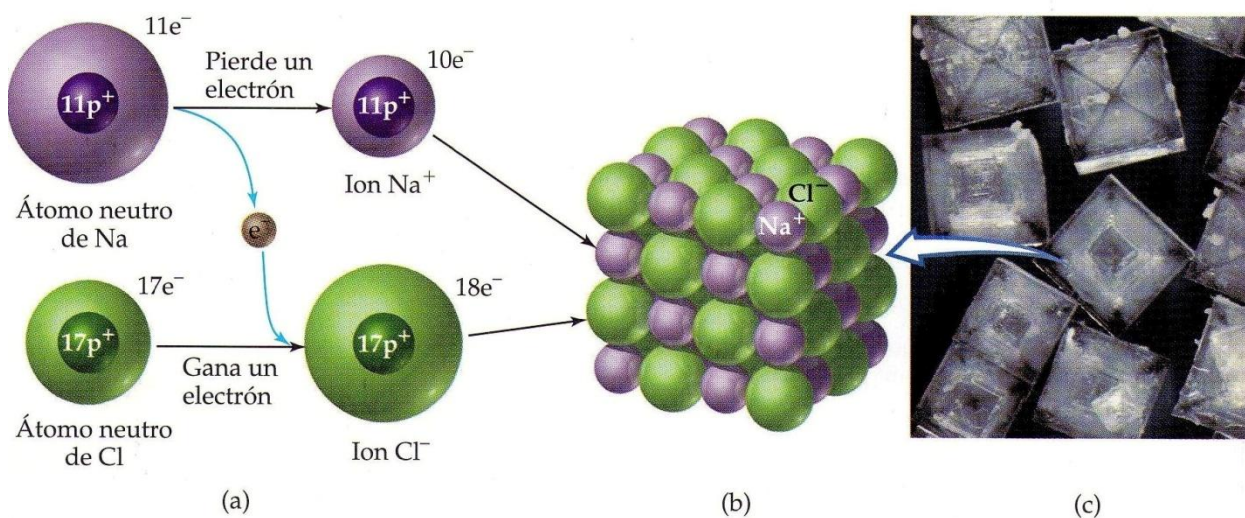


Figura 2: Formación del compuesto iónico NaCl, Tomado de Brown 2009

Entonces se conoce que los compuestos iónicos, se forman a partir de iones con cargas contrarias; generalmente se caracterizan porque los iones metálicos son cationes y los aniones son iones no metálicos. Estos metales y no metales antes de convertirse en sales, suelen formar compuestos como las bases (por ejemplo, hidróxido de sodio - NaOH) en el caso de los metales y ácidos (ácido clorhídrico - HCl) en el caso de los no metales; por tal motivo es común escuchar que las sales son compuestos iónicos que son producto de la reacción entre una base y un ácido.

Estas sales pueden ser fuertes o débiles (es una característica que influye en su hidrólisis y en la conducción de la energía), las sales fuertes suelen caracterizarse por ser solutos que una vez están en contacto con el solvente (agua por ejemplo) se disocian completamente como iones, por ejemplo el cloruro de calcio (CaCl_2) o casi por completo como el cloruro de sodio (NaCl), y se caracterizan además por conducir muy bien la electricidad. Por otro lado las sales débiles son compuestos que no se disocian por completo en sus iones cuando están en contacto con el solvente.

Adicionalmente se puede decir que las sales, son fuertes o débiles de acuerdo a los ácidos y bases que los compongan y que además las características de esos ácidos y bases influyen considerablemente en el pH del suelo; por ejemplo, un ácido fuerte (HCl) y una base fuerte (NaOH), pueden formar sales fuertes que se disocian casi por completo en solución y que además mantienen la neutralidad en el suelo; también pueden encontrarse sales formadas por un ácido fuerte y una base débil que puede disociarse casi por completo, pero la base débil tiene la tendencia a captar OH^- del agua, mientras el ácido tiende a hidrolizarse por completo y liberar H^+ incrementando la acidez en la solución. Caso contrario ocurre cuando es formada por un ácido débil y una base fuerte en donde el pH se incrementa.

Las sales más frecuentes en los suelos afectados por estas son:

CLORUROS: NaCl, CaCl_2 , MgCl_2 , KCl

SULFATOS: MgSO_4 , Na_2SO_4 ,

NITRATOS: NaNO_3 , KNO_3

CARBONATOS: Na_2CO_3

BICARBONATOS: NaHCO_3

El calcio, el magnesio y el sodio son los cationes que mayoritariamente se unen a los cloruros y a los sulfatos para formar las sales, con menor frecuencia se encuentra el potasio y los bicarbonatos, carbonatos y nitratos. (DORRONSORO)

Solubilidad de las sales

Es una propiedad muy importante que poseen las sales, de ella depende la movilidad, la permanencia y la precipitación de estas, por medio de esta se puede conocer la máxima concentración que se puede encontrar en la solución del suelo. Es sabido que una mayor concentración de las sales trae como consecuencia un mayor impacto en las plantas y en los problemas que puedan generar en el suelo; entonces las sales más tóxicas son las que presentan elevadas solubilidades. Por el contrario las sales con baja solubilidad no representarían ningún problema ya que precipitarían antes de alcanzar niveles perjudiciales (DORRONSORO).

Un precipitado es un sólido insoluble formado por una reacción en disolución. Las reacciones de precipitación se efectúan cuando ciertos pares de iones con cargas opuestas se atraen entre sí con tanta fuerza que forman un sólido iónico insoluble (BROWN, 2009)

En la tabla 1 que fue modificada de DORRONSORO, se puede observar que las sales de mayor solubilidad son los cloruros y los nitratos, seguidos por los sulfatos y los bicarbonatos; entonces, de acuerdo a lo expuesto anteriormente los primeros en precipitar serían: carbonatos, luego los sulfatos de calcio, por lo tanto estas sales no son un problema generalmente en el suelo ya que no permanecen mucho tiempo solubles si es que llegan a estarlo, por lo menos en suelos agrícolas (DORRONSORO).

Tabla 1: Solubilidad de algunas sales

CLASE	Solubilidades en agua a 20°C (g/L)	Tipo de solubilidad	Presencia en suelos afectados por sales	Toxicidad
Cloruros				
Sódico	360	Alta	Común	+++
Magnésico	1670	Alta	Común	++++
Cálcico	2790	Alta	Raro	++
Potásico	-	Alta	Baja	+
Nitratos				
Sódico	921	Alta	-	
Potásico	150	Media	-	
Sulfatos				
Sódico	195	Muy variable	Común	++
Cálcico	2.40	Baja	Común	
Magnésico	710	Alta	Común	++++
Potásico	-	Alta	Baja	+
Carbonatos				
Sódico	71	Media	En suelos sódicos	+++++
Cálcico	0.01	Muy baja	Común	
Magnésico	0.10	Muy baja	Común	
Bicarbonatos				
Sódico	262	Media	En suelos sódicos	++++

Movimiento de las sales en el suelo

La dinámica de las sales en el suelo se influenciada principalmente por dos procesos, uno es el flujo de masa y el otro es la difusión. Como lo muestra GARCÍA (1998) son procesos que producen la redistribución de diversos compuestos (fertilizantes y pesticidas entre otros) dentro del perfil del suelo.

También son importantes para reducir, mediante los lavados, las concentraciones de sales a niveles inofensivos para los cultivos.

El flujo de masas participa en los procesos de movimiento de arcillas por lavado y translocación (eluviación), lavado de iones como Ca^{2+} (decalcificación), Na^+ (dealcalinización), Fe y Al (podsolización), sales (desalinización) y silicio (Si) (laterización).

La difusión es un proceso causado por diferencias de movilidad térmica como en el movimiento Browniano. La velocidad de difusión varía con la velocidad promedio de las moléculas y a mayor temperatura mayor es la velocidad de las moléculas y más rápida la difusión. También se sabe que la difusión es una respuesta a un gradiente de concentración.

El flujo en masa se conoce como flujo convectivo. Se diferencia de la difusión en que requiere movimiento de masas de la fase líquida, o de la gaseosa, dependiendo de si se está considerando un movimiento de solutos o de componentes gaseosos. Así, por ejemplo, las sales se mueven a través del suelo bajo riego o lluvia porque son arrastradas hacia los estratos inferiores del perfil por el flujo de agua y es, generalmente, mucho más rápida que el movimiento por difusión. No es necesaria la existencia de un gradiente de concentración para que ocurra el flujo en masa pero a menudo se presenta, como cuando se riega un suelo que contiene sales o cuando se añade un fertilizante.

Los procesos de difusión y flujo en masa tienen causas físicas diferentes y pueden actuar en direcciones opuestas. La evaporación, por ejemplo, cerca de la superficie de un suelo salino produce un incremento en la concentración de la solución. Bajo esas condiciones la difusión de las sales tiende a ser hacia abajo hacia la concentración menor, mientras el flujo en masa de la solución del suelo es hacia arriba hacia el suelo más seco. (GARCIA O. A., 1998)

5.2 Características de la zona de estudio

El Valle del Cauca es uno de los departamentos más importantes de Colombia, por su gran desarrollo y porque representa un gran soporte para la economía del país en sus diferentes sectores, industria, comercio, educación, agricultura entre otros.

Es precisamente la agricultura uno de los renglones de mayor preponderancia en el departamento, principalmente por el recurso suelo, el clima y las características topográficas, que hacen de la región un eje fundamental en la innovación, tecnificación e industrialización de la agricultura, es por eso que casi el 50% de las 400.000 has del valle geográfico del río Cauca están sembradas con caña de azúcar (CARBONELL, OSORIO, & CORTES, Levantamiento detallado de suelos en cifras, 2006).

Ubicación

El departamento se encuentra ubicado en el suroccidente de Colombia (Sur América) como se muestra en la figura 3, aproximadamente entre los 3° y 4° de latitud Norte y los 75° y 77° de longitud oeste. La agricultura se desarrolla intensiva y extensivamente en la parte plana del departamento, la cual se encuentra ubicada entre las cordilleras central y occidental del territorio, esta cuenta con 25 Km. de ancho (en promedio) y aproximadamente 220 Km de largo. (CODAZZI & CVC, 2004)

El río Cauca recorre el departamento de sur a norte recostado sobre la cordillera occidental. Este fenómeno lo explican algunos autores por el mayor aporte de sedimentos provenientes de la cordillera central, los cuales forman abanicos largos y de poca pendiente que presionan al río hacia el oeste.

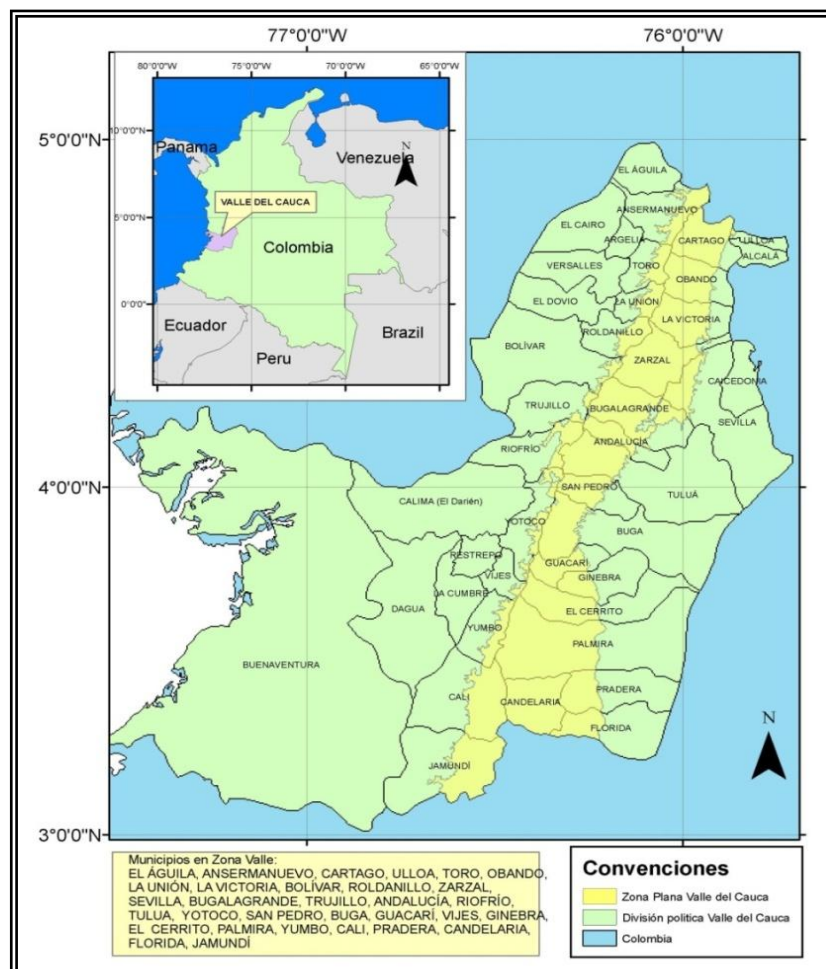


Figura 3: Ubicación de la parte plana del Valle del Cauca

El paisaje del Valle es plano y homogéneo a primera vista, sin embargo, se presentan diferentes formas de relieve que tienen una gran influencia en el patrón de distribución de los suelos de la zona y en sus características entre los cuales se encuentran: (CORTES, 1982),

- Planicie aluvial del río Cauca (sedimentos finos y gruesos ricos en cuarzo, micas, feldespatos)
- Planicie fluvio lacustre (Sedimentos finos depositados en agua tranquilas)
- Planicie aluvial de piedemonte (Abanicos recientes, subrecientes y antiguos, valles coluvio-aluviales, terrazas, basines)
- Colinas (no muy extensas de relieve quebrado)

Material parental

La mineralogía de los suelos del Valle del Cauca es indicativa de una buena fertilidad potencial. La fracción arena es rica en feldespatos potásicos y calco-sódicos y tiene alguna cantidad de anfíboles, especialmente en el área de abanicos. Las micas son importantes en la planicie aluvial del río Cauca. La fracción arcilla por otra parte, está constituida principalmente por minerales de tipo 2:1 como la montmorillonita; hay apreciable cantidad de illita e hidrómicas y en algunos suelos hay abundancia de vermiculita y clorita. Estos minerales son característicos de suelos fértiles. Al sur del valle hay suelos de escasa fertilidad cuya arcilla dominante es la caolinita (tipo 1:1) (CORTES, 1982).

Clima

La mayor parte del valle del río Cauca posee un clima cálido moderado seco. En la mayor parte del área la precipitación pluvial oscila entre 1000 y 200mm. y las temperaturas promedio anuales entre 23 y 24 °C. En la zona más seca (Unión - Bolívar) la precipitación es de aproximadamente 500mm., mientras en el sector húmedo, al sur del departamento superan los 2000 mm. anuales. Las lluvias se distribuyen en dos periodos húmedos (marzo-mayo, septiembre - noviembre) y dos secos (junio – agosto, diciembre - enero) (CORTES, 1982).

En la Figura 3 se muestra el balance hídrico para un año de precipitaciones normales, es decir, aquellas que obedecen a los valores medios históricos en el valle del río Cauca. En el mapa se observan las zonas que presentan déficit de humedad como las ubicadas entre los municipios de El Cerrito, Palmira, Candelaria y Yumbo y en el distrito de riegos Roldanillo-La Unión-Toro (RUT) y otras con excesos como al sur y al norte del Valle del río Cauca (CARBONELL, AMAYA, ORTIZ, TORRES, QUINTERO, & ISAACS, 2001).

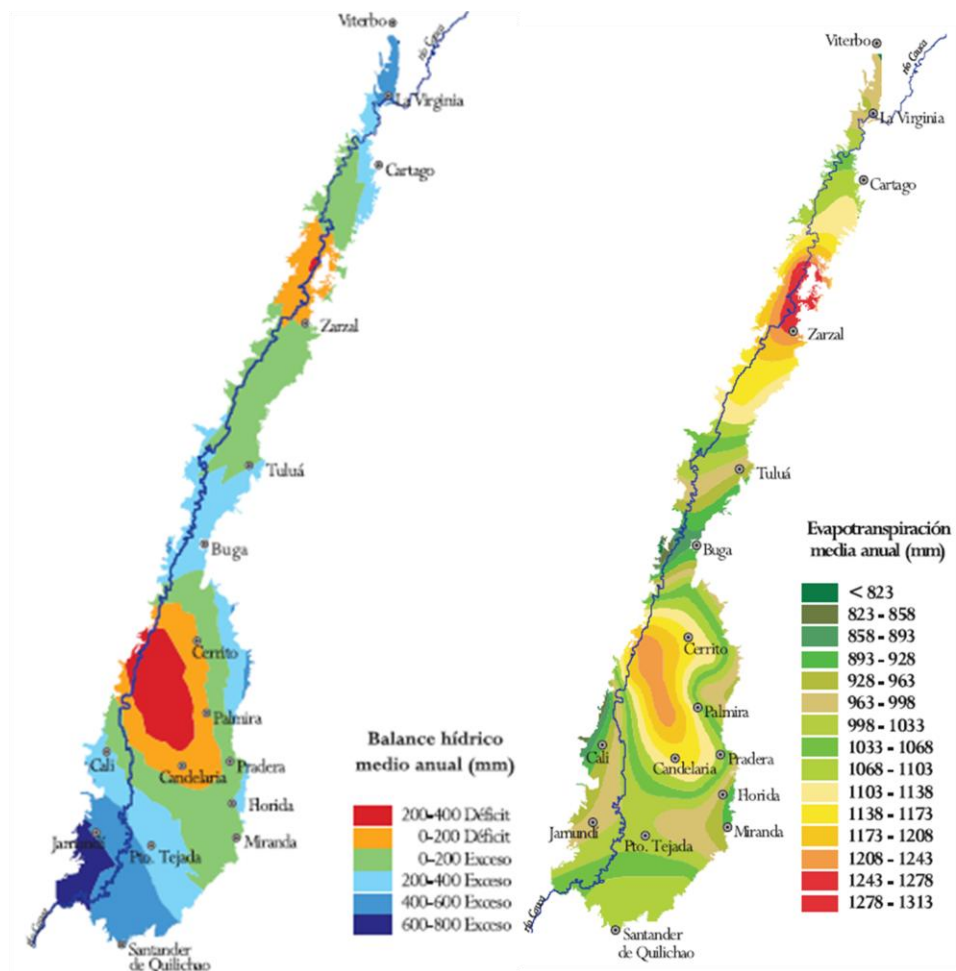


Figura 4: Distribución del balance hídrico y la evapotranspiración media anual en el Valle del Cauca (adaptado de Carbonell et. al 2001)

El Investigador del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) *Andy Jarvis* quien lidera el programa D.A.P.A., establece en sus conferencias, que el Clima del Valle del Cauca se calentaría, como consecuencia del calentamiento global. Dice además que en aproximadamente 50 años, Cartago tendría clima similar al de Pereira, y Cali como el de Buenaventura. En general argumenta que habrá un cambio de dos grados en la temperatura y se generará un cambio en el régimen de precipitaciones por lo que podría haber más o menos lluvia, igual establece que en la región pacífica la temperatura y la evaporación se incrementarán (El Tiempo, 2010).

Suelos

La parte plana del Valle del Cauca se caracteriza por tener una amplia variedad de suelos, los cuales presentan grandes diferencias como consecuencia de la variedad en sus procesos edafogenéticos. La variedad morfográfica, la edafodiversidad (a nivel de familia), la textura, salinidad, sodicidad, inundaciones, erosión, drenaje artificial y pendiente del terreno es un ejemplo de la heterogeneidad del suelo de la zona.

El paisaje predominante es el piedemonte con cerca de 134.097 has. Los tipos de relieve que predominan son los abanicos aluviales con 43% y las formas del terreno principales son el ápice, el cuerpo y el pie de los abanicos. Adicionalmente se estableció que la pendiente predominante está entre 0 y 1 % como se observa en la tabla 2 (CARBONELL, OSORIO, & CORTES, Levantamiento detallado de suelos en cifras, 2006).

Tabla 2: Distribución de las características del paisaje en el Valle del Cauca¹

CARACTERÍSTICA		ÁREA (ha)	%
Paisaje	Piedemonte	134097	80.8
	Planicie aluvial	14985	9.0
	Piedemonte y planicie	16797	10.1
Relieve	Abanicos aluviales	71962	43.4
	Abanicos aluviales y llanuras de desborde de los ríos tributarios	29582	17.8
	Llanura aluvial de desborde de los río tributarios	27523	16.6
Formas del terreno	Cuerpo de abanico	35359	21.3
	Cuerpo y pie de los abanicos	34236	20.6
	Ápice y cuerpo de abanicos, napas de explayamiento y de desborde de la llanura de desborde	28912	17.4
Pendiente	0 -1 %	153.214	93.4

¹ Tomado y adaptado de CARBONELL et al. 2006 sobre la base de 165.879 hectáreas evaluadas

Los suelos del Valle del Cauca son minerales por naturaleza pero existen sin embargo pequeñas áreas de suelos orgánicos en los basines y en los esteros que son áreas depresionales propicias para la acumulación de material vegetal y la acumulación de agua. (CORTES, 1982) Los suelos minerales cuentan con un déficit de humedad aprovechable durante gran parte del año, el drenaje es muy variable (bueno en abanicos y pobre en basines), la textura predominante es la fina y moderadamente fina en casi el 70% del área y la distribución de partículas muestra que predominan las arcillas de tipo esméticas con 27 % del área total y con un 45 % son importantes las mezcladas superactivas (Tabla 3). Los órdenes de suelos que predominan en el departamento son los Mollisoles, los Vertisoles y los Inceptisoles (respectivamente) los cuales ocupan cerca del 96% del área (CARBONELL, OSORIO, & CORTES, Levantamiento detallado de suelos en cifras, 2006).

Tabla 3: Distribución de las características de los suelos del Valle del Cauca²

CARACTERÍSTICA		ÁREA (ha)	%
Orden de suelo	Mollisoles	103261	48.2
	Vertisoles	63960	29.9
	Inceptisoles	38560	18.0
Nombre vernáculo	Corintians (Typic Haplusterts)	22090	10.8
	Palmira (Typic Haplustolls)	13780	6.7
	Manuelita (Fluventic Haplustolls)	12404	6.1
Textura	Fina	76598	35.8
	Francosa fina	61097	28.5
	Muy fina	23513	11.0
Arcilla	Mezclada superactiva	76582	-
	Esméticas	45218	-
	Caolinita	3785	-

² Tomado y adaptado de CARBONELL et al. 2006 sobre la base de 214.194 hectáreas evaluadas

Las características químicas de los suelos se encuentran relacionadas directamente con el clima y la naturaleza del material parental; un gran porcentaje de los suelos presentan gran cantidad de cationes de cambio, alta saturación de bases y media a alta capacidad de intercambio catiónico. Los pH son básicos a neutros y en la gran mayoría del territorio la saturación de aluminio es baja (con algunas excepciones en el sur del departamento en Jamundí); en estos suelos el potasio y el nitrógeno no son suficientes para el tipo de cultivo que predomina en la zona, por lo que se agregan al suelo este tipo de nutrientes en la mayoría de las agroindustrias, y existen problemas en algunos sectores de sales solubles. (CORTES, 1982)

El cultivo de caña de azúcar

El cultivo de la caña de azúcar ingreso en el Valle del Cauca hacia mediados del siglo XVI (entre 1538 y 1541), cuando el señor Sebastián de Belalcázar comenzó con la siembra en una hacienda de la ciudad de Yumbo; posteriormente el cultivo fue expandiéndose hacia sectores cercanos al río Amaime y sobre la margen izquierda del río Cauca, pero sin tener grandes extensiones. (RAMOS, 1995)

En la actualidad la agroindustria azucarera es extensiva, se encuentra ubicada en su gran mayoría a lo largo de toda la parte plana del Valle del Cauca entre los 3° y 5° de latitud norte y entre los 75° 31' y 76° 22' de longitud oeste. El cultivo abarca una extensión de aproximadamente 200.000 has en donde el 60% de sus cultivos se encuentran en el departamento del Valle del Cauca, la mayor proporción de área agrícola se encuentra en el costado oriental del Valle del Cauca (CARBONELL, AMAYA, ORTIZ, TORRES, QUINTERO, & ISAACS, 2001).

Manejo del cultivo

El manejo del cultivo de la caña de azúcar implica una serie de labores, entre las que se encuentran aquellas de establecimiento y mantenimiento del cultivo, dentro de estas labores está intervenido directamente el suelo, entre ellas se pueden encontrar adecuación de tierras, preparación de suelos, siembra, fertilización, control de arvenses y el riego.

Las labores concernientes a la adecuación de tierras son importantes para el suministro de agua para riego y de drenaje para los excesos de riego, además representa casi el 22% de la inversión inicial, ya que implica estudios de suelos, topográfico, de riego, de drenaje, nivelación de terreno entre otros. (CRUZ & LÓPEZ, 1995)

Otra de las labores es la preparación de suelos, en la cual el objetivo principal radica en ejecutar las acciones necesarias para generar un ambiente apropiado para el buen desarrollo del cultivo. Todo esto implica el uso de herramientas para la labranza y de maquinaria pesada que es involucrada directamente en el suelo (Arada, subsolada, rastrillada, surcada entre otras); además es necesario el conocimiento de la textura, de la humedad del suelo y de otras características, para evitar el daño en este al realizar las labores en condiciones inadecuadas (RODRIGUEZ & DAZA, 1995).

Otras labores como la siembra, el control de malezas, la fertilización y el riego son prácticas que relacionan directamente la intervención del suelo de manera directa y con un impacto constante y sistemático de labores que llevan al exceso.

Por ejemplo el calcio (por nombrar solo uno) es utilizado como fertilizante en la parte plana del Valle del Cauca, pero (QUINTERO, 1995) considera que la aplicación de calcio en los suelos no se justifica, por lo menos de una forma estandarizada (en cuanto a su aplicación) en toda la zona; sin embargo establece que se debe realizar diferencial y que existen en zonas en las cuales se justificaría como en aquellas áreas localizadas en suelos con tendencia a la acidez como son los del sur del departamento (Jamundí). Entonces esta práctica puede llevar a una acumulación de sales de calcio en suelos en donde su utilización como fertilizante no sea necesaria, llevando con esto a promover la formación de suelos con problemas de acumulación de sales.

También el riego es un factor preponderante como fuente de contaminación (el 95% del área cultivada recibe riego suplementario), debido a que las aguas de riego no son monitoreadas ni se les realiza un seguimiento de su calidad para riego y además no se compensa con enmiendas para evitar trasladar a los suelos las sales como bicarbonatos o posibles cloruros que traigan con ellas. Sin embargo las investigaciones anteriores han establecido que las aguas del río Cauca que son las que se utilizan para regar los cultivos en la zona norte (Río Paila por ejemplo) son de buena calidad desde el punto de vista químico, pero desde el físico presenta problemas por carga de sedimentos y materia orgánica. También se estableció que las aguas subterráneas que abastecen entre un 40 y 50 % de las áreas regadas, son de buena calidad (TORRES, 1995).

Se debe tener en cuenta que el uso extensivo e intensivo de las labores de manejo puede generar un problema de degradación, por ejemplo PANTOJA estableció que luego de realizar las labores de recolección de la caña, la densidad aparente se incrementa considerablemente, acelerando de esta forma la posibilidad de generar compactación por la realización periódica de estas labores (PANTOJA, 2002). CORTES establece que el uso indiscriminado y a veces inadecuado de la maquinaria agrícola, altera las condiciones físicas de suelos, repercutiendo directamente en la producción, estableciendo como problema común la compactación (CORTES, 1982).

La agricultura intensiva, tiende a producir desequilibrios en los sistemas naturales, principalmente en el suelo (en este caso), debido al uso sin control y planeación de las herramientas propias de la industria como son los fitoquímicos, la maquinaria agrícola, el riego en exceso (sin planificación, sin supervisión de sus componentes químicos y biológicos). Lo anterior conduce al deterioro del recurso suelo y puede llegar a poner en peligro la economía y el bienestar social del departamento (CORTES, 1982).

5.3 Antecedentes

La salinidad en el valle del río Cauca es un tema del cual siempre se ha discutido e investigado en el departamento, son diversos los registros que se tienen con respecto a las evaluaciones que se han desarrollado en pro de la investigación de esta problemática.

Por ejemplo, en uno de los registros bibliográficos más antiguos encontrados (FRYE & RUÍZ, 1959) se hace relación a una evaluación de la salinidad en Valle del Cauca que data de 1959. Esta investigación muestra que se realizó una evaluación en 2500 has ubicadas en la margen derecha del río Cauca, limitada al norte por la carretera a Obando y por el sur con el río Palmira; por el este con la carretera a Palmaseca y al oeste con el zanjón Guachal.

La investigación tenía como objetivo fundamental determinar las características químicas de los suelos comprendidos en una zona que aparentemente presentaba signos de estar afectada por sales y dar información sobre el grado y tipo de salinidad. Todo esto fundamentado en informaciones que Posada (1950) constato en suelos del ingenio Tumáco, sobre altos contenidos de carbonatos y sulfatos, también algunos cloruros pero en poca cantidad y concentraciones de Calcio (Ca^{2+}) cercanas a 100 ppm (5 meq/L).

El estudio demostró que la zona evaluada está afectada por sales, mostrando que los suelos presentaron C.E. entre 5.6 y 9.8 dS/m; pH entre 7.90 y 8.5, los iones de mayor presencia fueron Na^+ (41 – 91 meq/L), Mg^{2+} (29 – 48 meq/L), y SO_4^- (74 – 141 meq/L) y la R.A.S. oscila entre 10 y 17. Se encontró también que las sales se acumulaban en los primeros 20 cm. (el Ca^{2+} y K^+ se encontraban en cantidades altas) y decrecían con la profundidad; caso contrario pasó con el Na^+ intercambiable que incrementaba con la profundidad.

Otros estudios como los de García, muestran que los suelos del Valle del Cauca tienen problemas de magnesio en casi 117.000 has (más del 50% del área sembrada con caña), entre estos se encuentra la hacienda la Esperanza del ingenio Pichichí, la cual se caracteriza porque sus suelos tienen una saturación de magnesio superior al 50% (GARCIA O. A., 2002). Esta hacienda fue objeto de muestreo en ésta tesis.

Ahora en lo relacionado con la calidad de aguas para riego en el Valle del Cauca, un registro bibliográfico de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, muestra que el documento más completo en torno a la caracterización de aguas de riego en el Valle del Cauca data de 1989. Este estudio tuvo como objetivo realizar un diagnóstico de la calidad de las aguas de riego con las cuales se riegan los suelos de la agroindustria de la región. El muestreo se realizó a lo largo del Valle geográfico en 12 puntos del río Cauca (en invierno y en verano), desde el paso de la Bolsa hasta el distrito de riego, también se realizó en 20 pozos de la región (MARTINEZ, 1989).

El documento establece que la CVC es la entidad que tiene el registro general de las fuentes de agua de riego principalmente la de los pozos con 839 en la zona sur (Buga-Santander) y 151 en la norte (Cartago-Buga), sin embargo se observa que esos pozos solo han tenido un solo muestreo de calidad de aguas y no se realiza un seguimiento continuo de las aguas que son utilizadas diariamente en labores agrícolas de la región.

Los resultados del estudio mostraron lo siguiente: las aguas del río Cauca mostraron un pH que varió entre 7 y 8.1 las variaciones de una unidad se debían principalmente a que en determinadas horas del día se realizaban algunas descargas en Yumbo, San marcos y Yotoco. La C.E siempre fue menor a 0.7 dS/m, es decir sin problemas de salinidad y la RAS osciló entre 0 y 3, con algunos cuidados para HCO_3^- (1.8 meq/L); es decir estas aguas presentaban un grado de restricción de ligero a moderado para riego, con respecto a los lineamientos establecidos por la FAO.

Las aguas de los pozos mostraron un pH que fluctuó entre 7.1 y 8.4, la C.E tuvo variaciones entre 0.2 y 0.7 dS/m, la RAS fluctuó entre 0 y 3, con restricciones para HCO_3^- (1.5 – 8.5 meq/L), no existía problema con NO_3^- , Na^+ , Cl^- .

El estudio arrojó las siguientes conclusiones: primero, que las aguas tanto del río Cauca como de pozo tenían restricciones entre ligeras y moderadas, con mayor restricción para las de pozo por su mayor contenido de HCO_3^- ; segundo, de acuerdo a los registros iniciales de los pozos, no existió un incremento de la salinidad de estos pero si un pequeño incremento en la alcalinidad; tercero, el río Cauca no había incrementado sus contenidos de sales, ni de alcalinidad, pero los problemas por la presencia de metales pesados iba en aumento (MARTINEZ, 1989).

En registros un poco más recientes, Madero (2004) muestra que la conductividad de las aguas fue menor 1 dS/m y se reportó carbonato de sodio residual en seis de nueve casos evaluados, lo que indicaba que ninguna tiene potencial de salinización, y con algunas excepciones de las aguas tienen potencial para sodizar el suelo.

5.4 Suelos afectados por sales

Los suelos afectados por la salinidad se producen en todos los continentes y en casi todas las condiciones climáticas. Su distribución, sin embargo, es relativamente más amplia en las regiones áridas y semiáridas, en comparación con las regiones húmedas. La naturaleza y las propiedades de estos suelos son también diversos, por lo cual requieren enfoques específicos para su recuperación y gestión para mantener su productividad a largo plazo.

Los suelos afectados por sales se caracterizan por el exceso de sales en la superficie o el perfil completo del suelo y en la zona de la raíces. El origen de los suelos afectados por sales se debe específicamente a la combinación de diversas causas como por ejemplo: tipo y meteorización de las rocas (básicas), tipo de relieve, climas áridos y semiáridos, drenaje restringido y las actividades humanas; dentro de las que pueden nombrarse: deforestación, sobrepastoreo (que lleva a degradación física), cambios en los patrones del cultivo, contaminación química (por fertilizantes pesticidas y demás) y el inadecuado manejo de agua para el riego en los cultivos, del cual se hablará más adelante.

Su formación está relacionada directamente con los factores anteriormente nombrados como se puede establecer en la siguiente secuencia natural: durante el proceso de meteorización química de la roca que implica la hidrólisis, la hidratación, la solución, la oxidación, la carbonatación y otros procesos, los componentes del material parental se liberan paulatinamente y se van solubilizando, luego esas sales liberadas son transportadas a través de corrientes superficiales o subterráneas. Las sales en el agua subterránea se concentran gradualmente, luego el agua con sales disueltas se mueve desde las zonas más húmedas a las menos húmedas y áridas. Cerca del sitio de la liberación y en presencia de dióxido de carbono los iones predominantes serán los carbonatos y bicarbonatos de calcio, magnesio, potasio y sodio, pero sus concentraciones son bajas. Entonces a medida que el agua con los solutos disueltos se mueve desde regiones húmedas a áridas, las sales se concentran y esta concentración puede llegar a ser muy alta y provocar la precipitación de sales poco solubles. Además de la precipitación, los compuestos del agua pueden sufrir cambios a través de procesos de intercambio, adsorción, diferencial de movilidad, entre otros, dando como resultado el aumento de la concentración de los iones en el agua y en los suelos. (FAO, 1988)

El origen de los suelos sódicos también depende del predominio de climas semiáridos a áridos, y de percolaciones restringidas, pero requiere obligatoriamente de aguas de riego con baja conductividad eléctrica³, y una composición iónica preferiblemente con predominio de HCO_3^- y Na^+ . Sin embargo, los efectos de sodicidad⁴ pueden desaparecer en suelos con altas concentraciones de sodio, en los casos en los que los aniones predominantes del suelo sean $\text{SO}_4^{=}$ o Cl^- y la conductividad eléctrica del mismo sea alta (DRIESSEN & DUDAL, 1991).

Claro está que la formación de los suelos afectados por sales al estar influenciada por tantos factores de formación, genera cierta variedad de suelos afectados, debido a que estos están en función del contenido y la profundidad de las sales en el perfil, la composición iónica de las sales acumuladas y las variaciones por mineralogía; que lleva a que se establezcan diferencias mediante una clasificación como se observa posteriormente.

Efectos de las sales sobre los suelos y sobre las plantas

El efecto de la contaminación por sales puede afectar notablemente a la agricultura principalmente de dos formas, uno la acción o desequilibrio que ejerce sobre los suelos y dos el impacto sobre las plantas.

El efecto sobre los suelos depende principalmente por el catión o tipo de sal que predomine en él, por ejemplo, si predominan sales con contenidos de Sodio (Na^+) o Magnesio (Mg^{2+}) afectan la estructura del suelo cuando su saturación, respecto a la capacidad de cambio, facilita su acceso a las interláminas de las arcillas provocando su expansión y posterior dispersión y, como consecuencia, se afectan condiciones hidrodinámicas como infiltración, permeabilidad, conductividad hidráulica, capacidad de retención de agua, se torna plástico-pegajoso y se produce compactación. Por ejemplo, en el Valle del Cauca con respecto al Na^+ es común que los efectos físicos se observen a valores de PSI cercanos a 7, valores que tienen marcada similitud con registrado en otros países con problemas similares como Israel, Siria y Australia en donde se ha establecido un nivel de PSI = 5% como nivel crítico (GARCIA O. A., 2003)

Por otra parte si las sales que predominen son las relacionadas con Ca^{2+} , el efecto va a ser contrario al ocasionado por el Na^+ y el Mg^{2+} , es decir, los suelos con predominio de este catión serán bien estructurados, con una buena permeabilidad, buena retención de agua y muy buenas características físicas en general..

3 Cuyo efecto sobre los coloides del suelo es la floculación, contrario al del sodio.

4 Propiedades hidrológicas de pobre calidad agrícola.

Todas las formas de salinidad son nocivas para las plantas, unas más que otras (especialmente las más solubles) pero igual reducen la productividad de los suelos e impactan gran cantidad de especies agrícolas de gran importancia para la producción de alimentos, combustibles o fibras (por ejemplo la caña de azúcar). (GARCIA O. A., 2010)

El principal efecto (pero no el único) que realizan las sales sobre las plantas es que si el agua que está presente en el suelo contiene sales, la planta requerirá mayor energía para absorber la misma cantidad que cuando está libre de ellas. Entonces, la energía adicional requerida para absorber el agua en un suelo salino es aditiva a la energía requerida para absorber el agua en un suelo no salino; esto se conoce como el efecto osmótico o potencial osmótico, el cual genera una disminución en el agua aprovechable y efectos adversos para la planta como reducción del crecimiento, daño en los tejidos y necrosis. Otro de los efectos es el del ión específico el cual difiere del anterior en este efecto es específico sobre la planta y no sobre el suelo (es decir osmótico). (GARCIA O. A., 1998)

García establece que en investigaciones anteriores realizadas junto a Borrero se encontró que el cultivo de la caña se ve afectado con altos contenidos de magnesio intercambiable; observándose decrecimientos en torno al porcentaje de sacarosa que produce la planta durante su ciclo vegetativo. También con altos contenidos de Mg^{2+} la longevidad de las cepas se hace más corta, por lo cual es muy importante relacionar el Mg^{2+} con otros indicadores de rendimiento y calidad del cultivo (GARCIA O. A., 2002).

Cualquiera sea el efecto de la salinidad sobre las plantas o los suelos, es, por tanto, necesario comprender el origen de los suelos afectados por sales y clasificarlos, teniendo en cuenta las características físico-químicas, procesos que conducen a su formación y los enfoques probables de recuperación y exitosa gestión (FAO, 1988).

Tabla 4: Salinidad del extracto del suelo saturado, a partir del cual disminuye el rendimiento (a) y porcentaje de declinación del rendimiento por unidad de incremento en la conductividad eléctrica en el extracto (b).

Nombre Común	Nombre Científico	(a) dS/m	(b) %	Tolerancia (Clasificación)
Caña de azúcar	<i>Saccharum officinarum</i> L.	1.7	5.9	MS
Arroz	<i>Oriza sativa</i> L.	3.0 (1)	12.0	MS
Tomate	<i>Lycopersicom esculentum</i> L.	2.5	9.9	MS
Lechuga	<i>Lactuca sativa</i> L.	1.3	13.0	MS
Caraota	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	1.0	19.0	S
Cebolla	<i>Allium cepa</i> L.	1.2	16.0	S
Pimentón	<i>Capsicum annum</i> L.	1.5	14.0	MS

MS: moderadamente sensibles a la salinidad; **S:** sensibles a la salinidad; **(1):** conductividad eléctrica del suelo mientras la planta está sumergida.

a = conductividad eléctrica del extracto del suelo saturado a partir del cual se inicia la disminución del rendimiento relativo del cultivo, en dS/m.

b = porcentaje de declinación del rendimiento por unidad de incremento de la Fuente: (VILLAFÑE, 1995) citando a MAAS y HOFFMAN (1977).

Tipos de suelos afectados por sales

Debido a diferencias en la intensidad con que han actuado los factores formadores de los suelos en las diversas áreas fisiográficas, se encuentra una gran variabilidad de suelos; en todas las formaciones de suelos los efectos de la acumulación de sales solubles en el perfil son diversos y su intensidad depende de la cantidad de arcillas presentes en el suelo, de la magnitud de los procesos de precipitación y evaporación y del régimen de lavado y drenaje de una región dada. (GARCIA O. A., 1998)

Por lo tanto, estas diferencias han dado origen a suelos afectados por sales de diferente naturaleza, lo cual los hace particular en su manejo y rehabilitación. En general los suelos afectados por sales más conocidos son:

- Suelos salinos
- Suelos sódicos
- Suelos magnésicos
- Suelos ácidos sulfatados
- Suelos alcalinos
- Suelos calcáreos

En el Valle del Cauca se presentan en general tres de estos tipos de suelos que se describen a continuación:

Suelos salinos

“Suelos salinos” son aquellos en los que el contenido de sales (principalmente cloruros y sulfatos y, en casos extremos, nitratos de sodio, calcio y magnesio) y la presión osmótica de la solución del suelo no permiten la absorción por el cultivo de una gran parte del agua del suelo, y que no afectan directamente las propiedades físicas del suelo. La principal consecuencia es una reducción parcial o completa del crecimiento de las plantas debido a déficits fisiológicos de agua.

Para fines prácticos, la concentración de sales se expresa en términos de conductividad eléctrica (unidades de: dS (decisiemens)/m (metro) a 25°C) en extracto de saturación del suelo. Un dS/m equivale aproximadamente a una concentración de sales en la solución de 10 meq/l, y a una presión osmótica de 36 kpa.

La dificultad de absorción del agua del suelo por las plantas depende del potencial mátrico, que se hace más negativo al disminuir el contenido de agua del suelo, y del potencial osmótico, más negativo al incrementarse la salinidad de la solución del suelo. El efecto de ambos potenciales es más o menos aditivo. (PLA, 1979).

Villafañe en sus investigaciones ha establecido que cultivos como caraota y cebolla se muestran sensibles a las sales, mientras que cultivos como caña de azúcar, arroz, tomate, lechuga y pimentón, resultan moderadamente sensibles. En consecuencia, los primeros son más exigentes en cuanto a las condiciones de drenaje del suelo así como en lo relativo a la salinidad del agua de riego, pero en general, los cultivos involucrados son poco tolerantes a las sales. Ello implica que en el peor de los casos la conductividad eléctrica en el extracto del suelo saturado no debe superar los 2 dS/m; es decir, la salinidad en el extracto no debe superar los 20 me/l (VILLAFÑE, 1995).

Suelos sódicos

“Suelos sódicos” son aquellos donde la acumulación de altos niveles de Na^+ , algunas veces acompañado de Mg, tanto en solución como intercambiables, en relación a los niveles de $\text{Ca} + \text{Mg}$ y de salinidad total, conduce a efectos dañinos sobre las propiedades físicas del suelo.

Las principales consecuencias son reducciones drásticas tanto en la conductividad hidráulica del suelo como en la velocidad de infiltración del agua superficial.

En la práctica, los niveles de sodificación del suelo se expresan generalmente en términos de su “Relación de Adsorción de Sodio (RAS)” en el extracto de saturación del suelo (ES):

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}^+ (\text{ES})}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+}(\text{ES}) + \text{Mg}^{2+}(\text{ES})}{2}}}$$

Donde: Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} son las concentraciones de estos elementos en el extracto de saturación (ES) en dS/m (PLA 1979)

Autores como Pla (1989), y Rengasamy y Sumner (1998), investigando el manejo de suelos salinos no magnésicos, consideraron a la RAS mejor indicador y propusieron un nivel crítico de 3 a 5 a partir del cual se desencadenará el efecto negativo del sodio en el suelo (MADERO, 2004).

Suelos magnésicos

El ión Mg^{2+} tiene propiedades dispersivas (sobre las arcillas y la materia orgánica) y puede causar efectos adversos sobre las propiedades físicas del suelo en forma similar a como lo hace el sodio intercambiable. En el valle del río Cauca en Colombia, se han reportado suelos afectados por altas saturaciones de Mg^{2+} en el complejo de cambio (117.000 hectáreas). Estos se caracterizan por una reacción alcalina pero con pH menor que en los suelos sódicos, por ser muy plásticos y pegajosos cuando están húmedos y muy duros cuando están secos. (GARCIA O. A., 1998)

Los suelos magnésicos pueden ser de diversas características como se observa a continuación:

- a) Suelos en donde el Mg se acumula en forma de sales inorgánicas, principalmente sulfato y cloruro de Mg que son tóxicas para las plantas. Se les conoce como SOLONCHACK (Kovda et al, 1967).

- b) Suelos de color oscuro y textura pesada con altas cantidades de Mg (intercambiable, soluble y total), baja conductividad hidráulica y limitada movilidad de la humedad en el suelo. Se conocen como hidromórficos (Emerson y Smith, 1970 y Darab y Remenyi, 1978).
- c) Otro grupo presenta una alta saturación de Mg^{2+} acompañada de una amplia variación en la saturación de Na^+ con todas las características morfológicas del perfil solonetz. Algunos autores resaltan la similitud en el comportamiento de los iones Mg^{2+} y Na^+ en la formación solonetz (Maté, 1955).

Estos suelos se agrupan dentro de 5 tipos principales de perfiles magnésicos que indican la existencia de diferentes procesos de formación dependiendo de la posición fisiográfica, condiciones de clima y suelo, especialmente de la existencia de arcillas expandibles (tipo 2:1) en cantidades elevadas; en algunos suelos de la serie Burrigá (Vertisoles) se han encontrado cantidades de arcilla superiores al 90% (MADERO, 2004).

5.5 Aguas de riego

Puesto que las sales en el agua de riego son uno de los principales causantes de salinización de los suelos la irrigación se debe planear y manejar de modo que se pueda mantener un óptimo balance de sales en la zona radical. Un balance de sales favorable ocurre cuando la cantidad de sales que entran a la zona de raíces es menor o igual a la cantidad que sales en el agua de drenaje (GARCIA O. A., 1998).

La FAO establece que los problemas de los suelos afectados por sales son viejos, pero su magnitud e intensidad han ido aumentando rápidamente. Los problemas se han agravado por el desarrollo de sistemas de riego sin las medidas adecuadas para el drenaje y se ven agravadas por las malas prácticas de gestión del agua y los procedimientos poco sólidos de recuperación. (FAO, 1988)

En el caso de aguas que van a ser utilizadas para riego, las características a tomar en cuenta pueden ser la presencia de contaminantes de naturaleza química (contenido total de sales y de ciertos iones y sustancias contaminantes en solución), de naturaleza física (contenido de sedimentos, temperatura) y de naturaleza biológica (contenido de organismos patógenos).

La calificación de aguas para riego en relación a posibles problemas de salinización y sodificación de los suelos se basa fundamentalmente en el contenido absoluto y relativo de sales y ciertos iones (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) (PLA, 1979)

Estos contenidos son interpretados en cuanto a problemas potenciales de salinidad (limitaciones en el uso del agua del suelo por las plantas), y sodicidad (deterioro de las propiedades físicas del suelo) en relación a condiciones particulares de:

- Suelos
- Clima
- Cultivos
- Limitaciones en el manejo del riego y del drenaje

5.6 Modelo de simulación

En el pasado, y aún hoy en día se siguen utilizando frecuentemente tablas de valores empíricos (USDA, 1954) para describir la calidad y posible utilización de aguas de riego bajo condiciones hipotéticas promedio. Conscientes de la insuficiencia de estos criterios genéricos para predecir y prevenir los problemas de salinización para cada caso particular, se han ido proponiendo diferentes índices y modelos para corregir dicha situación. Prácticamente todos ellos se basan en el cálculo e interpretación de los valores de requerimiento de lavado, utilizando diferentes criterios más o menos racionales o empíricos.

A pesar de que se han desarrollado modelos teóricamente muy precisos para predecir los cambios de composición y concentración iónica de la solución del suelo y de los cationes intercambiables con el tiempo y la profundidad (Suárez y col.), ellos se basan en las influencias de procesos biológicos y fisicoquímicos cambiantes y muy difíciles de prever y precisar en la mayoría de los casos. Otros modelos basados en correlaciones empíricas (FAO, 1976, 1986; Rhoades, 1984) sólo son aplicables a situaciones y condiciones muy particulares.

Como una alternativa práctica a los anteriores índices y modelos, los criterios de clasificación desarrollados por PLA (1996, 1997), basados en la experiencia y el conocimiento en procesos de salinización y sodización en suelos, puede considerarse como un modelo lógico. Esta combina información sobre suelos (drenaje), clima (índice de humedad), y calidad del agua de riego (conductividad eléctrica y la composición anión/catión) (Figura 5). Este asume que los cambios en la concentración de sales en la solución del suelo podría afectar la composición de sales porque sales menos solubles se pueden precipitar (calcio, carbonato de magnesio y sulfato de calcio) aumentando la concentración de sales solubles (cloruro de sodio y sulfato). Con el fin de predecir problemas de sales o acumulación de sodio usando este modelo, se debe conocer la concentración de sales y la composición del agua de riego, el clima y las propiedades hidráulicas del suelo (ZAPATA, 2004)

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	COMPOSICIÓN ANIÓNICA	COMPOSICIÓN CATIÓNICA	PERMEABILIDAD	CLIMA	PREDICCIÓN SALINIDAD SUELO
BAJA CE < 1 dS/m	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$	RESTRINGIDA	ÁRIDO	SUELO SALINO
				LLUVIAS INTENSAS	SUELO SALINO-SÓDICO
		$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$	BUENA	ÁRIDO	SUELO SÓDICO
				SEMIÁRIDO A HÚMEDO	SUELO SÓDICO
			RESTRINGIDA	ÁRIDO	SUELO SALINO-SÓDICO
MODERADA 1 dS/m < CE < 2 dS/m	$\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$	RESTRINGIDA	ÁRIDO + SEMIÁRIDO	SUELO MODERADAMENTE SALINO
				SEMIÁRIDO A HÚMEDO	SUELO LIGERAMENTE SALINO
ALTO > 2 dS/m	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$	VARIABLE	ÁRIDO + SEMIÁRIDO	SUELO MUY SALINO
	$\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$	$\text{Na}^+ < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$	BUENA	ÁRIDO	SUELO SALINO
			RESTRINGIDA	ÁRIDO + SEMIÁRIDO	SUELO SALINO

Figura 5: Modelo Predictivo (ZAPATA, 2004)

6. METODOLOGÍA

La metodología se desarrolló de tal manera que pueda replicarse en cualquier zona en la cual se desee estimar los contenidos de sales en el suelo o en los cuales se quiera estimar este problema por medio del modelo de simulación del doctor Ildefonso Pla; ahora para llevar a cabo la evaluación se desarrollaron actividades en diferentes fases como se muestra a continuación:

1. Escogencia y descripción de la zona evaluada.
2. Recopilación de información de las características de la zona y recolección de muestras.
3. Evaluación de la salinidad general y evaluación del modelo.
4. Manejo de datos

Fase 1 (Descripción de la zona evaluada)

Para establecer el área o la zona a ser motivo de evaluación se tuvieron en cuenta los suelos con intervención agrícola permanente, cuyo clima se adecuara a las condiciones anteriormente establecidas (alta evapotranspiración) y en los cuales el manejo del agua de riego no se evaluara, como factor de prevención de incorporación de sales al suelo, que en este caso fueron los de la parte plana del Valle del Cauca; se tuvo en cuenta adicionalmente para la escogencia de la zona a evaluar, excluir las zonas sobre las cuales ya se habían realizado la mayor parte de los estudios de salinidad en el Valle del Cauca (es decir las que estaban sobre diagnosticadas), por tal motivo no hicieron parte del muestreo zonas como Palmaseca o el distrito de riego RUT.

Posteriormente se realizó la descripción detallada de la zona en conjunto (como se muestra en la metodología) con una descripción de las aguas de riego utilizadas en la agricultura, en donde se detallan las fuentes, formas de obtención y aprovechamiento. Además se realizó la escogencia y georreferenciación de los 100 puntos a muestrear.

Los puntos a muestrear fueron distribuidos a lo largo de la parte plana, teniendo como eje fundamental un diseño completamente al azar, desde el municipio de Zarzal (Ingenio Río Paila), hasta El Cerrito (límites con el río Amaime) y basándose en el estudio de salinidad de la CVC, para realizar la georreferenciación de los puntos. No se georreferenciaron puntos de muestreo en otros municipios (como Palmira y La Victoria por ejemplo), debido a que ya existen registros de problemas de salinidad o sodicidad en esas zonas.

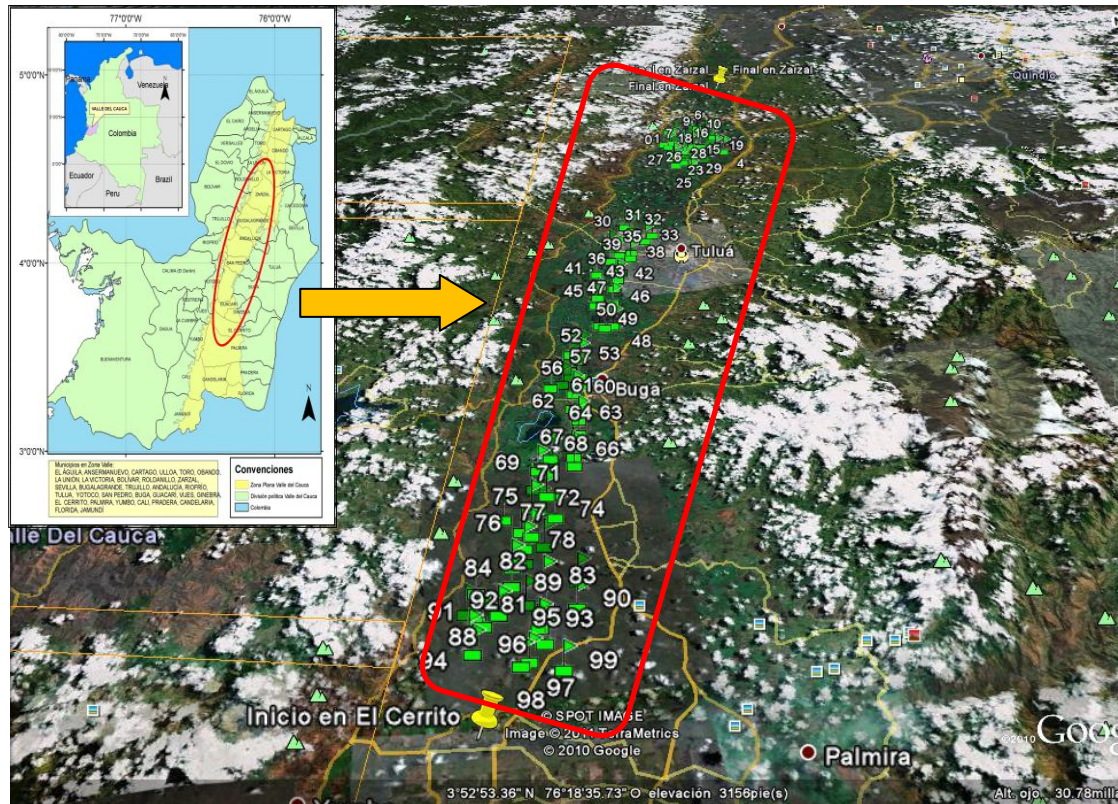


Figura 6: Localización de la zona de estudio en el Valle del Cauca. (Fuente Google Earth 2010)

Fase 2 (Recopilación de información)

Para esta fase fue importante la colaboración y participación de las diferentes entidades relacionadas con la agricultura y la preservación de los recursos naturales del departamento, por ejemplo los ingenios azucareros, CENICAÑA y CVC. A través de estas entidades se recopiló información relacionada con las características de los suelos a evaluar tales como: drenaje, niveles freáticos, clasificación taxonómica y clasificación agrologica entre otras del Valle del Cauca. La información climática histórica fue también motivo de recolección con la ayuda de CENICAÑA (datos históricos de los últimos 17 años).

Conjunto a estas labores de recolección de la información, se realizó el muestreo de los 100 puntos establecidos (georreferenciados); en cada punto de muestreo se tomó 1 Kg de suelo en profundidades de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80; adicionalmente se tomaron muestras puntuales del agua de riego utilizada en la zona del punto de muestreo, de aproximadamente 1 litro.



Figura 7: Labores realizadas en campo durante la recolección de las muestras y la información de campo.

Posteriormente estas muestras se llevaron al laboratorio de análisis químicos de suelo y aguas para realizar su valoración; dentro de las características a evaluar en las muestras de suelo estuvieron: Ce en el extracto saturado de suelo, pH, materia orgánica, textura, composición de aniones y cationes; con relación al agua de riego se evaluó la Ce, el pH, carbonatos y bicarbonatos in situ y la composición de aniones y cationes en el laboratorio.



Figura 8: Pretratamiento de las muestras de suelos analizadas.

Las muestras fueron recolectadas, manejadas y analizadas bajo los estándares de calidad que maneja el laboratorio de química de suelos de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín y los laboratorios del IGAC, entre los cuales se relacionan los que se encuentran en la tabla 5:



Figura 9: Manejo de calidad de las muestras de suelos analizadas y muestreo de las aguas de riego en campo (Carbonatos y bicarbonatos).

Tabla 5: Características analizadas en laboratorio

SUELOS	AGUAS DE RIEGO
pH (Conductímetro – extracto de saturación)	pH (Conductímetro)
C.E (Conductímetro – extracto de saturación)	C.E (Conductímetro)
Ca (absorción atómica – extracto de saturación)	Ca (absorción atómica)
Mg (absorción atómica – extracto de saturación)	Mg (absorción atómica)
Na (absorción atómica – extracto de saturación)	Na (absorción atómica)
K (absorción atómica – extracto de saturación)	K (absorción atómica)
HCO₃ (Colorimetría – extracto de saturación)	HCO₃ (Colorimetría)
CO₃ (Colorimetría – extracto de saturación)	CO₃ (Colorimetría)
SO₄ (Colorimetría – extracto de saturación)	SO₄ (Colorimetría)
Cl (Colorimetría – extracto de saturación)	Cl (Colorimetría)

Fase 3 (Evaluación de la salinidad)

Una vez se realizó el análisis de las muestras de campo, se procedió a dar inicio a la evaluación general de la salinidad en las diferentes profundidades y en las diferentes zonas muestreadas (municipios); posteriormente se realizó la aplicación del modelo de PLA para la predicción del riesgo de acumulación de sales en los suelos, con base en los resultados obtenidos de la valoración del agua de riego, la composición y cantidad de sales en los suelos, así como la información relacionada con el clima de la zona y el drenaje del suelo.

Fase 4 (Manejo de datos)

Una vez recopilada la información con las distintas entidades y obtenidos los resultados del modelo y de la evaluación general con los datos de campo, se procedió a realizar el manejo de datos a través de una comparación entre la predicción del modelo y la evaluación real realizada en campo.

También se realizaron gráficas de las diferentes características, procesadas a través de rangos y tablas con toda la información estadística (promedio, desviación estándar y demás), se calcularon además variables como RAS y PSI, el PSI fue calculado de acuerdo a lo establecido por (GARCIA A. y., 1991) para el Valle del Cauca.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 DIAGNOSTICO GENERAL DE LA SALINIDAD EN LA ZONA DE ESTUDIO

Los resultados del estado de la salinidad actual en el Valle del Cauca, se mostrarán de la siguiente forma: primero se hizo una descripción general superficial (es decir entre 0 y 20 centímetros de profundidad) de los principales indicadores utilizados en la evaluación de la salinidad como es el caso de la C.E, pH, RAS, PSI.

Luego se hizo una descripción del comportamiento general de los mismos indicadores pero en profundidad (hasta 80 centímetros), cada una de estas relacionada con los dos principales factores formadores de suelos afectados por sales: Clima y agua de riego.

Posterior a estos se hizo una descripción general del comportamiento histórico del clima de la zona y de las características de las aguas de riego. Luego se hizo una descripción de la salinidad actual de los suelos pero detallada por municipios.

7.1.1 Suelos

Superficial

En la tabla 6 se muestran las características que describen el grado de salinidad y sodicidad en los extractos saturados de las muestras recolectadas en superficie; en esta tabla se puede observar que los suelos del Valle del Cauca en promedio muestran conductividades eléctricas que no sobrepasan los 0.2 dS/m, que el pH en promedio tiende a la neutralidad (6.8), que los iones en promedio no presentan valores por encima de los 2 meq/L y, que las RAS y PSI en promedio no son mayores a 1.

Tabla 6: Descripción general de la salinidad superficial en el Valle del Cauca.

Superficial	C.E (dS/m)	pH	Iones (meq/L)								RAS	PSI
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻		
Promedio	0.20	6.8	1.2	1.1	0.2	1.0	1.3	1.2	0.0	2.3	1.0	1.0
Desviación	0.16	0.7	1.6	1.5	0.3	1.4	0.4	3.2	0.0	1.9	0.8	0.7
Moda	0.20	7.0	-	0.6	0.1	-	1.0	0.7	0.0	-	-	-
Max	1.47	7.7	15.4	13.4	2.6	13.1	3.1	32.0	0.0	9.1	5.5	5.2
Min	0.04	3.9	0.2	0.2	0.0	0.3	0.5	0.2	0.0	0.0	0.3	0.3
Varianza	0.03	0.5	2.6	2.2	0.1	2.1	0.2	10.3	0.0	3.6	0.6	0.5

Es decir, la tabla muestra claramente que el problema de salinidad (representado fundamentalmente por la C.E), no es un problema generalizado en los suelos de la parte plana del Valle del Cauca y que aquellos valores que se muestran como máximos cercanos a 2 dS/m, hacen parte de un problema localizado en algunas haciendas de la zona.

Ahora la tabla y la figura 10 también muestran que en promedio en toda la zona no predomina ningún tipo de problema relacionado con salinidad o sodicidad y que aunque iones como sulfato ($\text{SO}_4^{=}$) y bicarbonato predominen en algunas zonas no representan un riesgo potencial alto para los suelos, pero sí de nivel medio. En esta se muestra que en el 100% de los suelos la C.E nunca sobrepasó los 2 dS/m y que en el pH solo el 15% se ubicó entre 7.5 y 8.

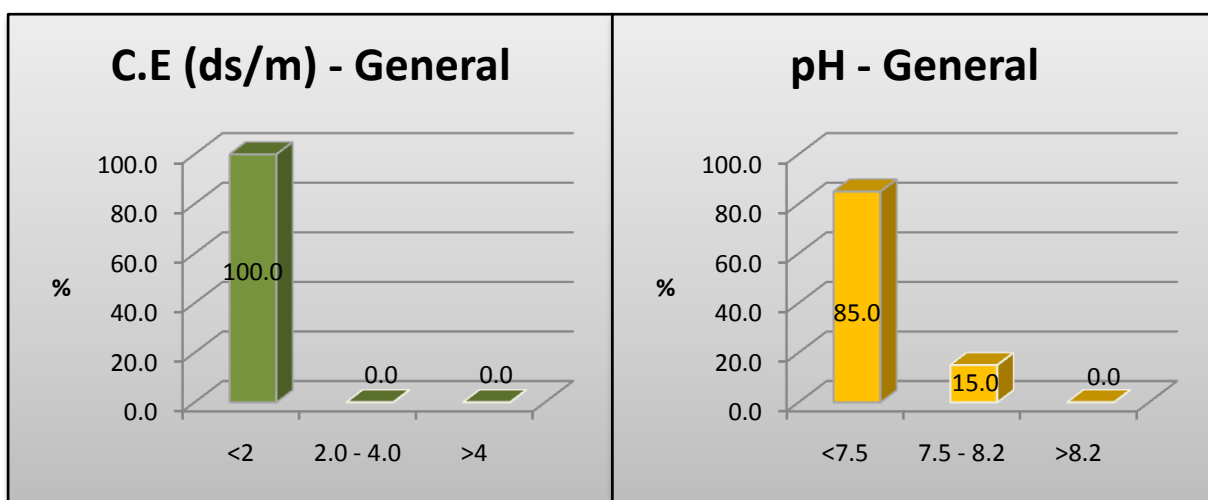


Figura 10: Descripción general de la conductividad eléctrica y el pH en superficie.

Sin embargo algunos problemas localizados son de cuidado, debido a que en ellos se presentan condiciones en donde los suelos deben manejarse con mucha cautela para que el problema no se extienda o tienda a agudizarse, por ejemplo, algunos suelos presentaron valores de pH cercanos 8, indicando un problema potencial en lo relacionado con los contenidos de bicarbonatos (principal proceso en la alcalinización de suelos, máximos de 9 meq/L). También en la tabla se muestran problemas localizados, en donde los contenidos de Calcio, Magnesio, sodio, y sulfatos, son considerablemente altos.

La figura 11 muestra que los suelos en general no poseen problemas de sodicidad, es decir que indicadores como la R.A.S. (97%) y el P.S.I. (100%) no sobrepasaron los valores críticos (3 y 7 respectivamente) que pueden llegar a generar problemas con el sodio; sin embargo se puede observar en la misma figura que existe un 3% de los suelos evaluados que tiene un riesgo considerable con RAS mayores a 3 y casi un 30% con valores cercanos 3.

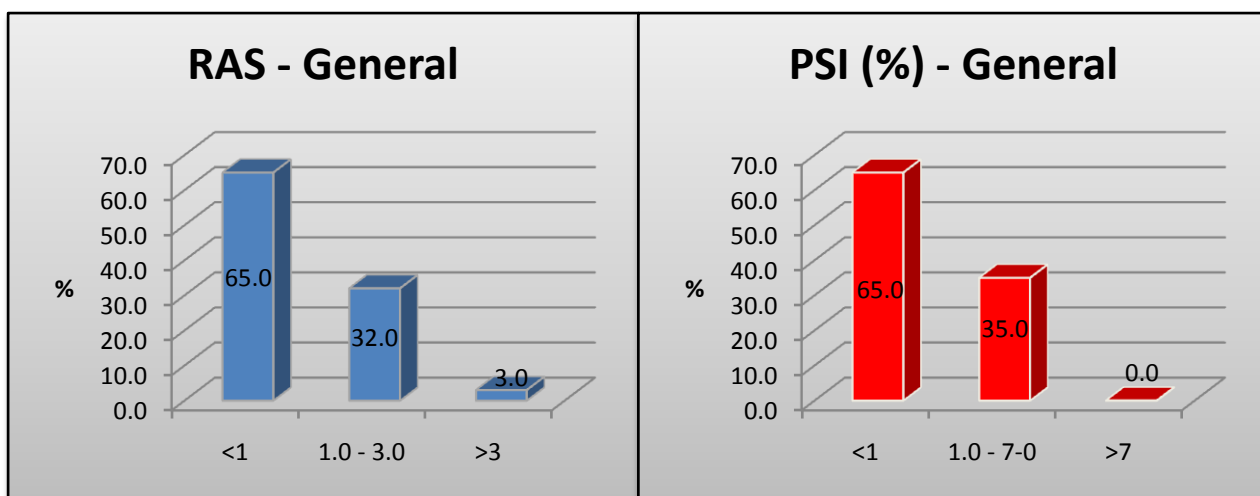


Figura 11: Descripción general de la R.A.S. y el P.S.I. en superficie.

Los resultados mostraron además que la relación entre contenido de iones, C.E, pH y RAS en los suelos, las características de las aguas de riego y el clima imperante en la zona, tienen estrecha relación cuando se presentan valores que indican un problema de afectación por sales en los suelos. También cabe anotar que en otros suelos en donde el clima imperante muestra que se presenta mayor déficit en el balance hídrico no se observan problemas de sales en los suelos.

Por ejemplo, en todas las haciendas en donde se presentaron aguas de riego con altos contenidos de iones o altos valores de C.E, pH o RAS, se presentaron suelos con los mismos problemas que se podían visualizar en las aguas de riego, entonces existe una relación directa entre los contenidos de sales en los suelos y los contenidos de sales en las aguas; esto muestra que aunque el problema no es general en la parte plana del Valle del Cauca, si se tienen unos problemas localizados que están influenciados directamente por la calidad de las aguas de riego, es decir esto le puede estar sucediendo a otros suelos.

Entonces los dos factores principales para la afectación de suelos por sales (Aguas y clima), están relacionados directamente, pero que el factor de mayor preponderancia lo representa las aguas de riego, debido a que aunque en toda la zona se presenta el mismo comportamiento climático (con déficit en 7 de los 12 meses del año), los suelos solo presentan contenidos de sales considerables cuando las aguas de riego las contienen.

Posteriormente se hará énfasis en que haciendas y en que ingenios se encuentran los problemas localizados, cuando se hace la descripción de la salinidad y sodicidad por municipios.

Profundidad

En la tabla 7 se muestran las características de las muestras recolectadas en profundidad; en esta tabla se puede observar que los suelos del Valle del Cauca en promedio en todas las profundidades muestran conductividades eléctricas que no sobrepasan los 0.22 dS/m, que el pH tiende a la neutralidad (6.5 - 6.8), que los iones en promedio no presentan valores por encima de los 2 meq/L y, que las RAS y PSI en promedio no son mayores a 2 pero que tienden a incrementar con la profundidad.

Tabla 7: Descripción general de la salinidad en profundidad en el Valle del Cauca.

General	Prof. (cm)	C.E (dS/m)	pH	Iones (meq/L)								RAS	PSI
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻		
Promedio	0-20	0.20	6.8	1.2	1.1	0.2	1.0	1.3	1.2	0.0	2.3	1.0	1.0
Desviación		0.16	0.7	1.6	1.5	0.3	1.4	0.4	3.2	0.0	1.9	0.8	0.7
Moda		0.20	7.0	-	0.6	0.1	-	1.0	0.7	0.0	-	-	-
Max		1.47	7.7	15.4	13.4	2.6	13.1	3.1	32.0	0.0	9.1	5.5	5.2
Min		0.04	3.9	0.2	0.2	0.0	0.3	0.5	0.2	0.0	0.0	0.3	0.3
Varianza		0.03	0.5	2.6	2.2	0.1	2.1	0.2	10.3	0.0	3.6	0.6	0.5
Promedio	20-40	0.20	6.7	0.8	1.0	0.2	1.4	1.2	1.0	0.0	1.8	1.4	1.4
Desviación		0.14	0.8	1.2	2.1	0.3	3.0	0.4	1.1	0.0	1.5	1.2	1.2
Moda		0.10	7.3	0.3	0.3	0.0	0.6	1.1	0.5	0.0	0.0	-	-
Max		0.87	8.1	11.1	20.9	2.9	29.2	4.0	8.0	0.0	6.6	7.3	6.8
Min		0.01	3.8	0.1	0.1	0.0	0.3	0.7	0.1	0.0	0.0	0.4	0.4
Varianza		0.02	0.6	1.4	4.5	0.1	8.9	0.2	1.3	0.0	2.3	1.5	1.3
Promedio	40-60	0.21	6.6	0.8	1.2	0.2	1.8	1.2	1.3	0.0	1.5	1.8	1.7
Desviación		0.18	0.9	1.6	3.8	0.4	4.1	0.5	2.2	0.0	1.3	1.8	1.7
Moda		0.10	6.9	0.2	0.4	0.0	0.4	1.0	0.5	0.0	0.9	0.8	0.8
Max		1.00	7.9	14.3	37.0	3.5	38.2	5.0	13.0	0.0	5.7	9.7	8.8
Min		0.00	3.9	0.0	0.1	0.0	0.2	0.5	0.1	0.0	0.0	0.4	0.3
Varianza		0.03	0.8	2.6	14.2	0.2	17.0	0.3	4.8	0.0	1.6	3.2	2.7
Promedio	60-80	0.22	6.5	0.9	1.3	0.2	2.0	1.3	1.3	0.0	1.4	1.9	1.8
Desviación		0.28	0.9	1.8	3.7	0.6	4.4	1.1	2.1	0.0	1.2	1.9	1.8
Moda		0.10	7.2	0.3	0.2	0.1	0.4	1.0	0.4	0.0	2.2	-	-
Max		1.79	7.8	12.1	31.5	5.1	35.6	11.0	13.6	0.0	4.7	9.6	8.8
Min		0.00	3.9	0.0	0.0	0.0	0.2	0.6	0.1	0.0	0.0	0.4	0.4
Varianza		0.08	0.9	3.2	14.0	0.3	19.5	1.3	4.3	0.0	1.3	3.7	3.2

Es decir, la tabla muestra claramente que el comportamiento de todas las características en profundidad es similar al presentado en superficie y que la salinidad (representada por la C.E.) no es un problema generalizado en los suelos de la parte plana del Valle del Cauca ni en profundidad ni en superficie y que aquellos valores que se muestran como máximos cercanos a 2 dS/m, hacen parte de un problema localizado en algunas haciendas de la zona que solo se dan en profundidades de 0 a 20 cm y de 60 a 80 cm.

La tabla y la figura 12 también muestran que en promedio en toda la zona no predomina ningún tipo de problema relacionado con salinidad o sodicidad en profundidad, es más se observa que conforme se avanza en profundidad el pH tiende a disminuir. Eso indica que no existe la presencia de algún ión (como bicarbonato por ejemplo) que represente un riesgo potencial para los suelos.

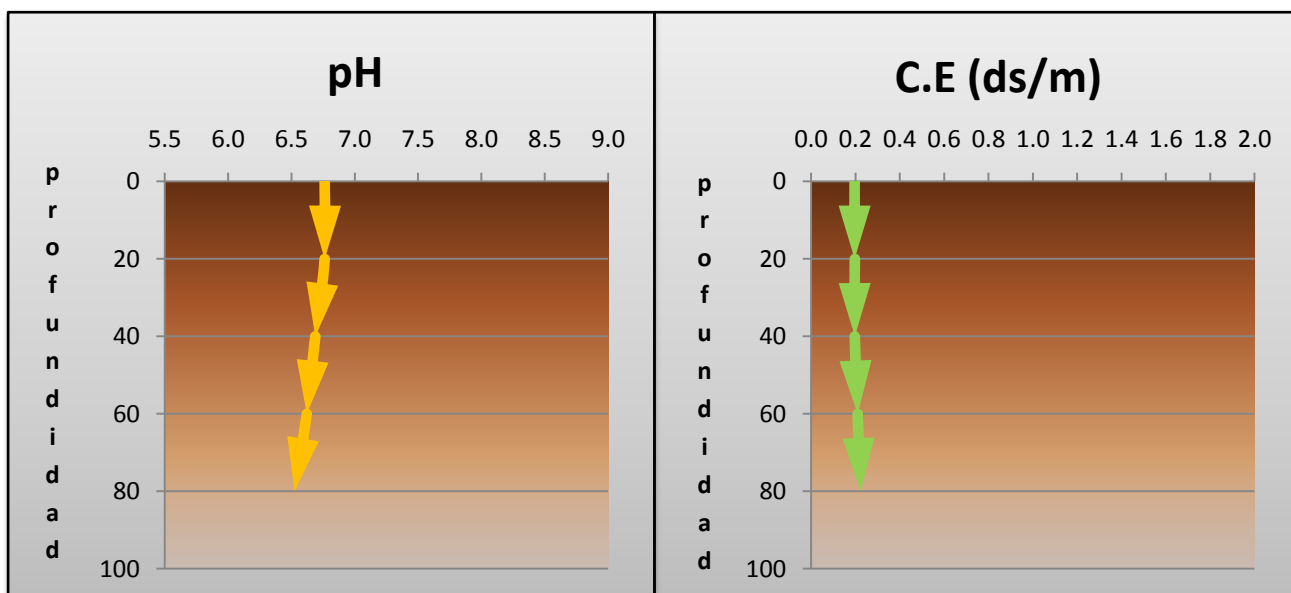


Figura 12: Descripción general en profundidad de la C.E y el pH

Los problemas localizados son de cuidado, debido a que se ubican en las mismas haciendas en las cuales se encontraron problemas en superficie, es mas en algunas características los valores tienden a ser más críticos en profundidad, es decir el problema se agudiza.

Entonces estos suelos deben ser manejados con un alto grado de responsabilidad debido a que el problema se extiende en profundidad y puede direccionar su tendencia hacia un problema más crítico. También en la tabla se muestran problemas localizados, en donde los contenidos de Calcio, Magnesio, sodio, cloruros y sulfatos, son considerablemente altos y en ocasiones aumentan con la profundidad.

La figura 13 muestra que los suelos en general no poseen problemas serios de sodicidad, pero que la RAS y el PSI presentan una tendencia a incrementar sus valores conforme avanza la profundidad; sin embargo los problemas localizados muestran que la RAS y el PSI son las características que más se incrementan con la profundidad presentando valores cercanos a 9.7 y 8.8 respectivamente.

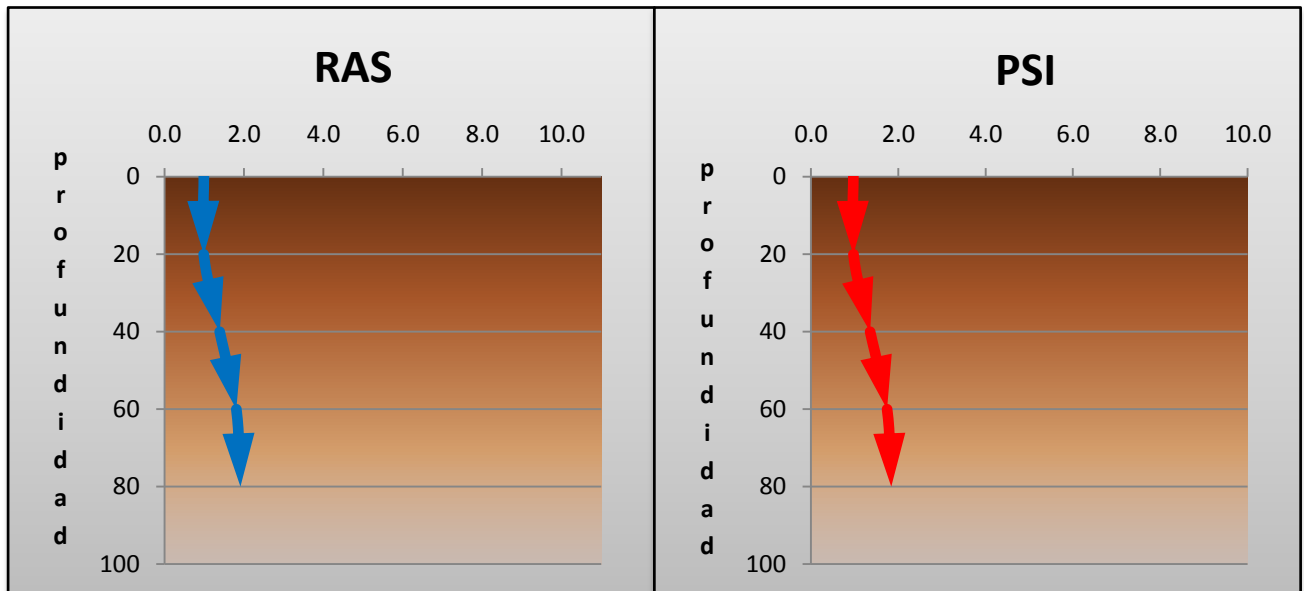


Figura 13: Descripción general en profundidad de la RAS y el PSI

Entonces, en profundidad también se pudo observar que los dos factores principales para la afectación de suelos por sales (Aguas y clima), están relacionados directamente, con los resultados obtenidos para los suelos, en donde el factor que mayor influencia tiene es el de las aguas de riego, ya que el clima es similar en toda la zona, pero los suelos tienden a asimilar las características de las aguas de riego no solo en superficie, sino también en profundidad.

Se observó también que en general en profundidad algunos sectores tienden a disminuir el pH (llegando en ocasiones a pH 3.9), es decir el suelo tiende hacia la acidez en profundidad, esto se relaciona directamente con los establecido por GARCIA, MADERO Y MALAGÓN (2004) en donde establecen que en la parte plana del Valle hay razones para creer que los materiales volcánicos y los rojos de carácter ácido que cubren las laderas próximas mezclándose con algunos suelos, han alterado el equilibrio de bases. (GARCIA O. A., 2004)

Entonces en general los problemas en profundidad se encuentran localizados en las mismas haciendas en las cuales se encuentran los problemas superficiales por ejemplo los problemas de sulfatos en Samaria y los problemas generalizados que tiene la hacienda Chambimbal de Pichichí.

7.1.2 Clima

La tabla 8 muestra el comportamiento de la precipitación, la evapotranspiración, el superávit y el déficit que se presenta en la parte plana del Valle del Cauca específicamente en la zona de muestreo; en ésta se muestran valores promedio históricos mensuales (1993 - 2010), en general en la zona de estudio la precipitación promedio anual histórica se encuentra alrededor de los 1135 mm y la evapotranspiración se encuentra alrededor de 1162 mm al año.

Tabla 8: Distribución histórica del régimen de humedad en el Valle del Cauca (zona de muestreo).

General (1993-2010)	Información climática mensual histórica de la zona (mm)			
	Precipitación	Evapotranspiración	Superávit	Deficit
Enero	68.3	100.3		-32.0
Febrero	65.3	99.8		-34.5
Marzo	110.2	107.0	3.2	
Abril	138.5	92.3	46.2	
Mayo	117.4	86.2	31.1	
Junio	73.0	86.9		-13.9
Julio	63.2	101.1		-37.9
Agosto	61.9	104.2		-42.3
Septiembre	83.0	100.2		-17.3
Octubre	126.3	101.1	25.2	
Noviembre	137.9	89.7	48.2	
Diciembre	90.8	93.5		-2.7
ANUAL	1135.7	1162.3		

En la tabla y en la gráfica 14 se puede observar que en la zona históricamente existe una fuerte evapotranspiración en todo el año, concentrándose principalmente en dos temporadas: junio, julio, agosto, septiembre y diciembre, enero y febrero; la precipitación predomina también en dos temporadas pero con menor fuerza en los meses de marzo, abril, mayo y Octubre, Noviembre.

Es decir la tabla y la gráfica muestran claramente que existe un déficit de humedad en la zona en 7 meses del año y que el superávit que puede ayudar en el posible lavado de sales solo predomina pero no con tanta fortaleza en solo 5 meses. Entonces la gráfica es clara en demostrar que la precipitación es cíclica con dos temporadas marcadas (antes mencionadas), pero que la evapotranspiración no es cíclica, sino que es constante en todo el año y que además se incrementa en ciertas épocas del año ya mencionadas.

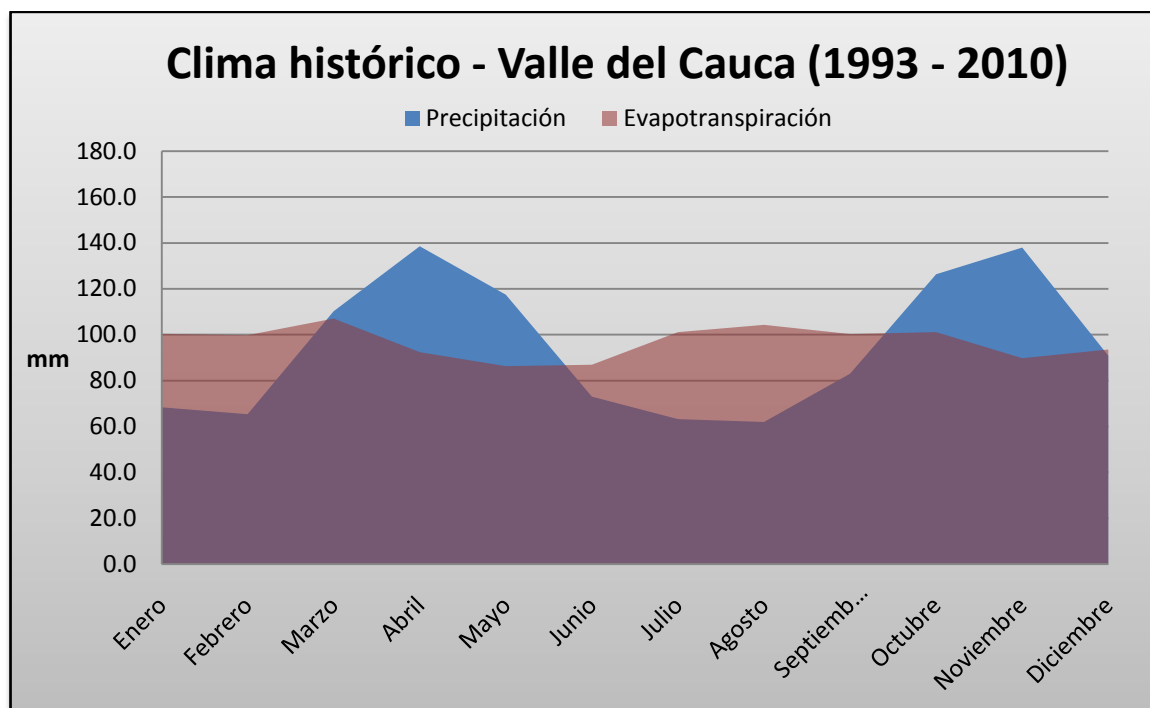


Figura 14: Distribución gráfica de la precipitación y evapotranspiración en la parte plana del Valle del Cauca (zona de muestreo)

Ahora la tabla 9 muestra el balance hídrico histórico por municipio, en este se puede observar que aunque en gran parte de la parte plana del Valle del Cauca predomina el déficit de humedad, este no es uniforme en todos los municipios y es mucho más agresivo en municipios como Bugalagrande, Tuluá y Guacarí, mientras que en Zarzal (solo sector la Paila), Buga y El Cerrito aunque existe déficit en gran parte de los meses del año no es tan fuerte.

En general las dos tabla y la gráfica muestran que en toda la zona y detalladamente por municipio existe un déficit marcado de humedad, además se observa que la evapotranspiración es un factor predominante todo el año, lo cual trae como consecuencia la concentración de las sales que se encuentren presentes en el agua de riego, ya que los pocos aportes de lluvia no son significativos para la posible acumulación de sales.

Entonces los riesgos de salinización o sodificación pueden ser altos y están determinados principalmente por la concentración y composición iónica de las aguas con las cuales se riegan los cultivos de caña de azúcar, sino se tiene un buen manejo y control del balance de sales en el riego, además de un buen manejo del drenaje, aunque la permeabilidad en estos suelos sea relativamente buena.

Tabla 9: Distribución histórica del régimen de humedad en el Valle del Cauca por municipio (zona de muestreo).

Municipio	Información climática mensual histórica por municipio (mm)						
	Zarzal	Bugalagrande	Tuluá	San Pedro	Buga	Guacarí	El Cerrito
	Sup-Def	Sup-Def	Sup-Def	Sup-Def	Sup-Def	Sup-Def	Sup-Def
Enero	-44.2	-44.8	-29.0	-	2.9	-67.0	-10.1
Febrero	-31.4	-26.6	-29.4	-	-46.9	-57.6	-14.8
Marzo	28.0	-1.8	14.4	-	-19.3	-20.7	18.6
Abril	58.0	43.1	45.8	-	46.1	15.1	68.8
Mayo	75.4	30.2	12.9	-	36.6	4.1	27.8
Junio	22.2	-6.9	-26.8	-	-25.5	-35.3	-11.1
Julio	-2.0	-25.2	-56.2	-	-17.8	-64.7	-61.5
Agosto	-28.3	-43.2	-55.4	-	17.7	-77.1	-67.6
Septiembre	2.7	-21.1	-11.2	-	-10.5	-43.4	-20.1
Octubre	39.9	6.6	19.1	-	63.3	1.1	21.4
Noviembre	57.6	54.6	35.9	-	75.2	10.6	55.4
Diciembre	2.4	1.9	-15.2	-	25.4	-37.1	6.4

El municipio de San Pedro no registra información climática histórica en la base de datos de referencia.

7.1.3 Aguas de Riego

En la figura 15 se observa la distribución general de las fuentes de agua de riego, en donde se encontró que el 30% pertenecían a pozo, que el 53% pertenecían a río o cauces naturales y que el 17% aguas de canal de drenaje.

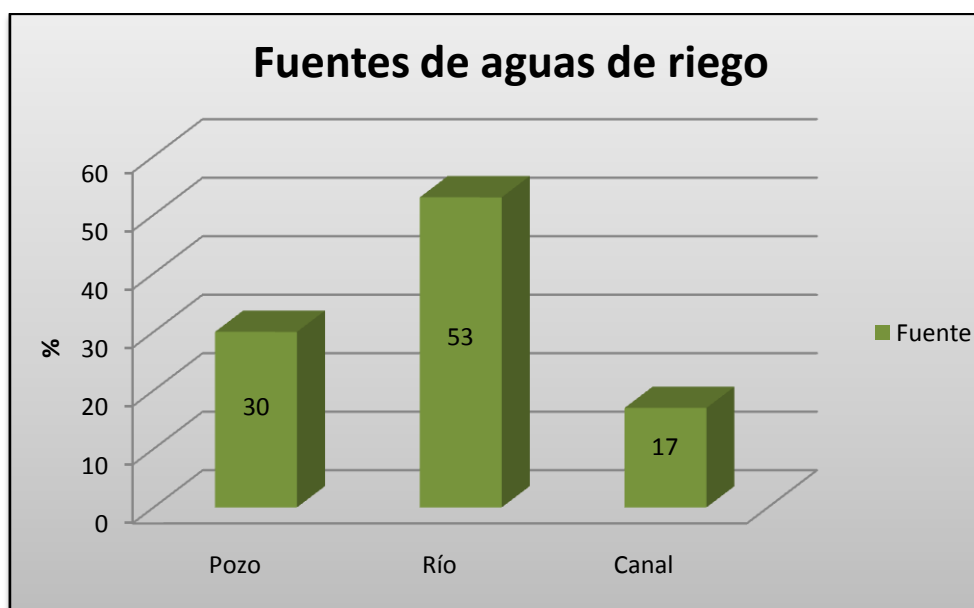


Figura 15: Descripción general de las fuentes de agua de riego

Los suelos que son regados con aguas de pozo se encuentran ubicados en su gran mayoría entre los municipios de Buga, Guacarí y El Cerrito; los suelos que son regados con aguas de río o cauces naturales están distribuidos en toda el área (Zarzal-El Cerrito), pero predominan en los municipios localizados al norte del área evaluada (Zarzal, Bugalagrande, Tuluá). Por último los suelos en los cuales se utiliza aguas de canal de drenaje se encuentran ubicados principalmente en Zarzal y Bugalagrande, esta práctica puede llegar a preocupar en la medida que se vuelva una constante, debido a que las aguas de canal de drenaje se encuentran eutrofizadas, además pueden llegar a llevar una carga considerable de sales solubles y otros agentes contaminantes.

Otro aspecto que se pudo observar en la evaluación de las fuentes de aguas de riego, es que en algunas haciendas se está haciendo uso de aguas residuales no tratadas como fuente de agua de riego, con todo el desconocimiento del impacto que puede llegar a generar ésta en las características químicas, físicas y biológicas del suelo, además de los inconvenientes sanitarios que se pueden generar en los trabajadores que tienen contacto con esos cultivos.

En la tabla 10 se muestran valores generales de concentración y composición iónica de las aguas de riego, además de Conductividad eléctrica, pH y relación de absorción de sodio; en general, se observó que las aguas de riego en promedio tienen C.E menores a 0.5 dS/m, con concentraciones de iones solubles por debajo de los 3 meq/L, excepto bicarbonatos y con RAS menores a 1.

Tabla 10: Comportamiento general de los iones, el pH, C.E y RAS en el agua de riego de la zona evaluada.

General	C.E (dS/m)	pH	Iones (meq/L)								RAS
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	
Promedio	0.46	7.2	2.6	1.7	0.1	1.3	0.5	0.7	0.0	4.8	0.9
Desviación	0.27	0.6	1.7	1.1	0.1	1.1	0.6	1.1	0.2	2.7	0.7
Moda	0.37	7.2	1.3	1.9	0.0	0.6	0.5	0.0	0.0	7.0	-
Max	1.68	8.8	8.2	6.4	0.5	4.6	5.0	4.5	1.6	13.8	3.7
Min	0.14	5.7	0.0	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1
Varianza	0.07	0.3	2.7	1.1	0.0	1.1	0.4	1.3	0.0	7.3	0.5

Las aguas con las cuales se riegan los suelos del área evaluada (parte plana del Valle del Cauca desde Zarzal hasta El Cerrito) no muestran en general riesgos de salinización con valores bajos de conductividad eléctrica promedio que no alcanzan a sobrepasar los 0.5 dS/m. Sin embargo, las aguas de algunas haciendas deben manejarse con cuidado, debido a que presentaron valores en donde predominan los iones bicarbonato (es decir el riesgo es por alcalinidad y no por salinidad), además de poseer conductividades eléctricas cercanas al valor crítico de 2 dS/m, lo cual podría llegar a generar problemas de salinización o con mayor probabilidad sodificación con su respectivo impacto negativo en la permeabilidad del suelo. Adicionalmente se pudo observar que las aguas con mayor contenido de sales son las de pozo.

Además como se expuso anteriormente, la zona cuenta con un balance hídrico en donde en 7 meses del año existe déficit, es decir que la evapotranspiración predomina en gran parte del año lo cual incide directamente en la concentración de iones en el agua de riego que queda en los surcos, precipitando el calcio como carbonato y como consecuencia el ión sodio predominaría en el agua que infiltra en el suelo.

Esta condición se puede observar claramente en municipios como Bugalagrande, Tuluá, Guacarí y El Cerrito, en donde en algunos de estos se alcanzó a tener déficit hasta en 8 meses del año, saliéndose un poco del promedio de la zona que fue de 7 meses.

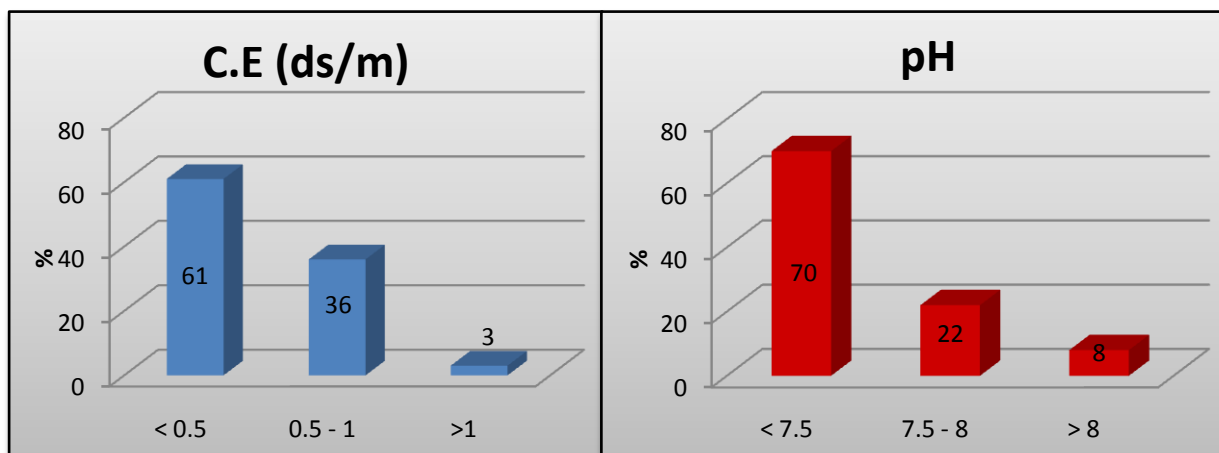


Figura 16: Descripción general de la conductividad eléctrica y el pH en lo suelos.

En las figura 16 se muestra la distribución porcentual de la conductividad eléctrica y el pH. En esta se observa que el mayor porcentaje (60%) de la conductividad eléctrica del agua de riego se encontró por debajo de 0.5 dS/m, que el 36 % entre 0.5 y 1 dS/m, y solo el 3% sobrepasa 1 dS/m.

A continuación se muestra la distribución espacial de la C.E.:

- < 0.5 dS/m: Zarzal, Bugalagrande, Tuluá, San Pedro
- 0.5 – 1dS/m: Buga, Guacarí, El Cerrito
- >1dS/m : San Pedro

En la figura también se observa que las aguas de riego en mayor proporción registraron pH por debajo de 7.5 (70%), que el 22% registraron pH entre 7.5 y 8, y que solo el 8% sobrepasa 8.

A continuación se muestra la distribución espacial del pH:

- < 7.5 : Variable pero predomina en Bugalagrande, Buga
- 7.5 - 8: Variable predomina en Zarzal, San Pedro y El Cerrito
- 8 : Zarzal y El Cerrito

Es decir las figuras muestran claramente que gran parte del área evaluada y que la mayoría de los municipios tienen aguas de riego que puedan llegar a generar un riesgo considerable de alcalinización y un riesgo más reducido para la salinización de suelos. En municipios como San Pedro (específicamente en la hacienda Chambimbal) se debe manejar con cuidado las aguas de riego que registran conductividades eléctricas cercanas a 2 dS/m, también en municipios como Zarzal y El Cerrito se debe tener cuidado con la presencia de bicarbonatos en las aguas de riego, específicamente en haciendas como La Luisa, Colon, San Carlos, Canelo, Milán, San Fernando y Marsella.

Las aguas de riego mostraron que la distribución de los iones se encuentra de la siguiente manera: en cerca del 96% de las aguas los bicarbonatos son los aniones que predominan por encima de otros como los sulfatos y los cloruros, también se observó que en el 97 % del calcio y el magnesio se encuentran por encima del sodio (R.A.S. < 3); es decir que existe un peligro potencial en cuanto a la presencia de bicarbonatos, debido a que la alta evapotranspiración que existe en la zona puede estar llevando a procesos de alcalinización del suelo (Figura 17).

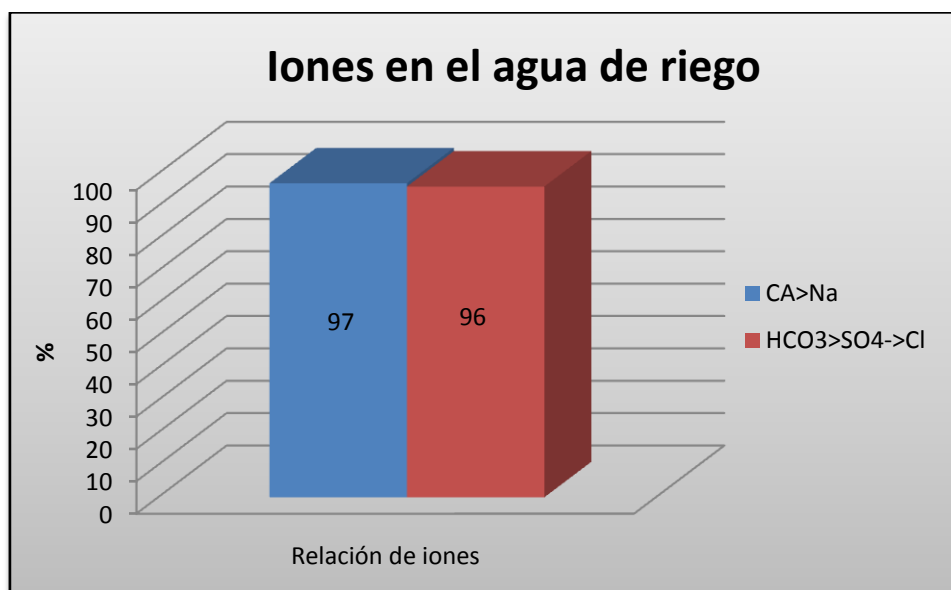


Figura 17: Relación de iones en el agua de riego.

A continuación se muestra la distribución espacial de los niveles de bicarbonatos.

Niveles medios de HCO₃⁻

Bugalagrande: El Guabito Venecia – Rio Paila

Tuluá: Chundular, Primavera, San Ignacio – San Carlos y Carmelita

Niveles Altos de HCO₃⁻

Tuluá: Danubio – San Carlos

San Pedro: Maria C. Palau – San Carlos

Buga: Sta Mónica – Manuelita, Andalucia, Sta Ana – Providencia
La Esperanza – Pichichí

Guacarí: Albania – Manuelita, La Estancia, San Rafael, Chambery – Pichichí

El Cerrito: San Carlos, La Ínsula, La Tribuna – Providencia, San Miguel – Pichichí, Canelo 1 - Manuelita

Niveles muy Altos de HCO₃⁻

San Pedro: Chambimbal – Pichichí

Además están acompañados de niveles medios de Na⁺

7.2 DIAGNOSTICO DE LA SALINIDAD POR MUNICIPIO

7.2.1 Zarzal

Superficial

En la tabla 11 se muestran las características que describen el grado de salinidad y sodicidad superficial en los extractos saturados de las muestras del municipio de Zarzal; en esta se puede observar que los suelos en promedio muestran conductividades eléctricas que no sobrepasan los 0.3 dS/m, que el pH en promedio tiende a ligeramente ácido (6.4), que los iones en promedio no presentan valores por encima de los 2 meq/L, salvo los sulfatos y, que las RAS y PSI en promedio no son mayores a 1.

Tabla 11: Descripción general de la salinidad superficial en el municipio de Zarzal.

Zarzal	C.E (dS/m)	pH	Iones (meq/L)								RAS	PSI
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻		
Promedio	0.27	6.4	2.1	2.0	0.2	1.1	1.0	3.9	0.0	0.9	0.9	0.9
Desviación	0.42	0.6	4.7	4.0	0.1	1.4	0.3	9.9	0.0	0.6	0.4	0.4
Moda	0.20	6.1	-	-	0.2	-	1.0	-	0.0	-	-	-
Max	1.47	7.3	15.4	13.4	0.3	4.9	1.7	32.0	0.0	1.8	1.8	1.8
Min	0.09	5.2	0.2	0.2	0.0	0.3	0.7	0.4	0.0	0.3	0.5	0.5
Varianza	0.18	0.4	21.9	16.1	0.0	1.9	0.1	97.7	0.0	0.3	0.2	0.2

Es decir, se muestra claramente que el problema de salinidad (representado fundamentalmente por la C.E), no es un problema generalizado en el municipio y que aquellos valores que se muestran como máximos cercanos a 2 dS/m, hacen parte de un problema localizado en la hacienda Las Lajas del Ingenio Rio Paila-Castilla.

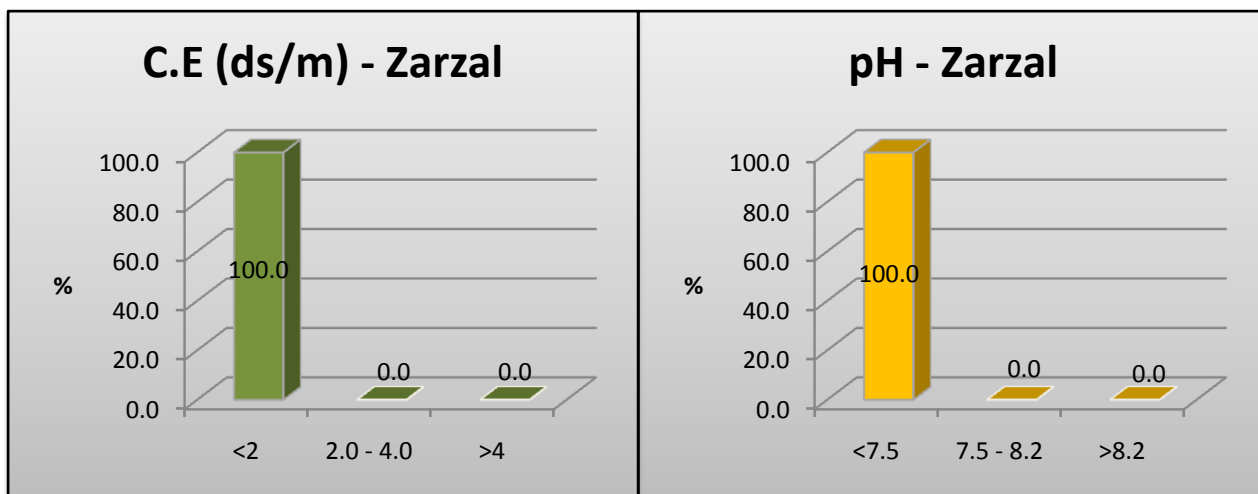


Figura 18: Descripción en el municipio de Zarzal de la conductividad eléctrica y el pH en superficie.

La tabla y la figura 18 también muestran que en general en el municipio no predomina ningún tipo de problema relacionado con salinidad o sodicidad y que tampoco la presencia de algún ión (como bicarbonato por ejemplo) representa un riesgo potencial para los suelos. En esta se muestra que en el 100% de los suelos la C.E nunca sobrepasó los 2 dS/m y que en el pH no presentó valores superiores 7.5.

Adicionalmente, la figura 19 muestra mucho más específicamente que los suelos del municipio no poseen problemas de sodicidad, es decir que indicadores como la R.A.S. (60%) y el P.S.I. (60%) no sobrepasaron los valores críticos (3 y 7 respectivamente) que pueden llegar a generar problemas con el sodio; sin embargo se puede observar en las misma figura que existe un 40% de los suelos evaluados que tiene un riesgo leve con RAS de 1 a 3 y casi un 40% con valores cercanos a 7 en el PSI, lo cual no se presenta en varios de los otros municipios evaluados.

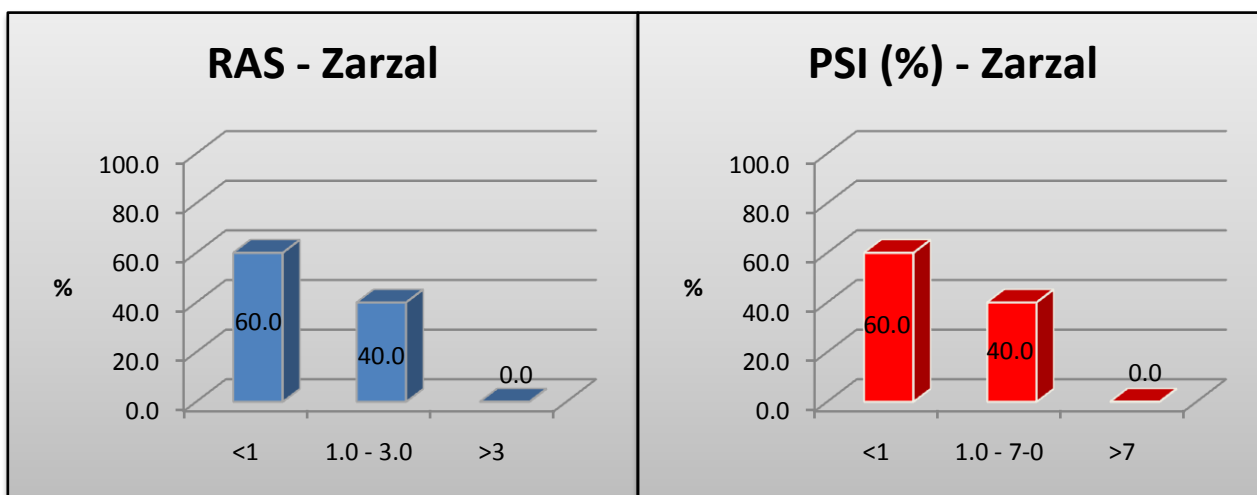


Figura 19: Descripción en el municipio de Zarzal de la R.A.S. y el P.S.I. en superficie.

En este municipio las condiciones climáticas adversas solo se presentan en solo 4 meses del año, entonces esto hace que el principal factor para la afectación de suelos por sales (el agua de riego), no incida de manera general como lo hace en otros municipios; de igual manera se observa una relación entre algunos (no en todos) contenidos de sales en los suelos, las aguas de riego y el clima. Es decir cuando el agua de riego presentaba valores considerables de sales o RAS, el suelo también los presentaba pero en menor medida.

Sin embargo, aunque el problema no es generalizado en el municipio, algunos problemas localizados son de cuidado, en estos se debe tener cuidado para que el problema no se extienda o se torne en una situación crítica, por ejemplo:

- En la hacienda Las Lajas del ingenio Rio Paila- Castilla, la conductividad eléctrica del suelo es cercana a 2 dS/m, con altos contenidos de sulfatos, calcio, magnesio y sodio, además las aguas de riego presentan pH por encima de 8 con presencia de contenidos medios de bicarbonatos.
- Las haciendas La Luisa y Colon aunque no presentan problemas de salinidad o sodicidad en los suelos, el riego debe ser manejado con mucha responsabilidad debido a que las aguas presentan pH por encima de 8, con presencia de carbonatos y bicarbonatos.

Profundidad

En la tabla 12 se muestran las características de las muestras recolectadas en profundidad; en esta se observa que los suelos del municipio de Zarzal en promedio en todas las profundidades muestran conductividades eléctricas que no sobrepasan los 0.31 dS/m, que el pH tiende a ligeramente ácido (6.2 - 6.4), que los iones en promedio no presentan valores por encima de los 3 meq/L excepto los sulfatos y, que las RAS y PSI en promedio no son mayores a 1.7 pero que tienden a incrementar levemente con la profundidad.

Tabla 12: Descripción de la salinidad en profundidad en el municipio de Zarzal.

Zarzal	Prof. (cm)	C.E (dS/m)	pH	Iones (meq/L)								RAS	PSI
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻		
Promedio	0-20	0.27	6.4	2.1	2.0	0.2	1.1	1.0	3.9	0.0	0.9	0.9	0.9
Desviación		0.42	0.6	4.7	4.0	0.1	1.4	0.3	9.9	0.0	0.6	0.4	0.4
Moda		0.20	6.1	-	-	0.2	-	1.0	-	0.0	-	-	-
Max		1.47	7.3	15.4	13.4	0.3	4.9	1.7	32.0	0.0	1.8	1.8	1.8
Min		0.09	5.2	0.2	0.2	0.0	0.3	0.7	0.4	0.0	0.3	0.5	0.5
Varianza		0.18	0.4	21.9	16.1	0.0	1.9	0.1	97.7	0.0	0.3	0.2	0.2
Promedio	20-40	0.20	6.3	0.9	1.1	0.1	1.2	1.2	1.7	0.0	0.6	1.3	1.3
Desviación		0.13	0.7	0.8	0.9	0.0	1.3	0.6	2.3	0.0	0.6	1.3	1.2
Moda		0.14	5.3	-	-	0.2	0.6	0.8	-	0.0	-	-	-
Max		0.47	7.4	3.0	3.7	0.2	4.7	2.4	8.0	0.0	2.0	4.8	4.6
Min		0.09	5.3	0.4	0.3	0.0	0.5	0.7	0.3	0.0	0.1	0.5	0.5
Varianza		0.02	0.5	0.6	0.9	0.0	1.6	0.3	5.4	0.0	0.3	1.6	1.4
Promedio	40-60	0.26	6.2	1.3	1.6	0.2	1.7	1.1	2.4	0.0	0.6	1.7	1.7
Desviación		0.28	1.1	2.1	2.2	0.3	1.8	0.3	3.9	0.0	0.4	1.7	1.6
Moda		0.13	6.5	-	-	0.1	-	0.8	0.6	0.0	0.2	-	-
Max		0.85	7.3	6.0	5.9	1.0	5.5	1.7	13.0	0.0	1.4	6.3	5.9
Min		0.08	4.1	0.1	0.1	0.0	0.3	0.8	0.5	0.0	0.2	0.6	0.6
Varianza		0.08	1.2	4.4	4.9	0.1	3.4	0.1	15.1	0.0	0.2	2.8	2.5
Promedio	60-80	0.31	6.3	1.7	2.3	0.1	2.0	1.9	1.3	0.0	0.7	1.5	1.5
Desviación		0.52	0.9	3.7	4.4	0.1	3.4	3.2	1.6	0.0	0.7	1.3	1.2
Moda		0.12	6.7	0.1	-	0.1	0.5	1.0	-	0.0	-	-	-
Max		1.79	7.4	12.1	14.8	0.3	11.5	11.0	5.0	0.0	2.5	4.1	4.0
Min		0.08	4.4	0.1	0.2	0.0	0.4	0.7	0.4	0.0	0.0	0.4	0.4
Varianza		0.28	0.8	13.6	19.7	0.0	11.7	10.2	2.5	0.0	0.5	1.6	1.5

Esta tabla muestra claramente que el comportamiento de todas las características en profundidad es similar al presentado en superficie y que la salinidad (representada por la C.E.) no es un problema generalizado en los suelos del municipio de Zarzal ni en profundidad ni en superficie y que aquellos valores que se muestran como máximos cercanos a 2 dS/m, hacen parte de un problema localizado en la hacienda La Luisa del ingenio Rio Paila-Castilla en la profundidad de 60 a 80 cm.

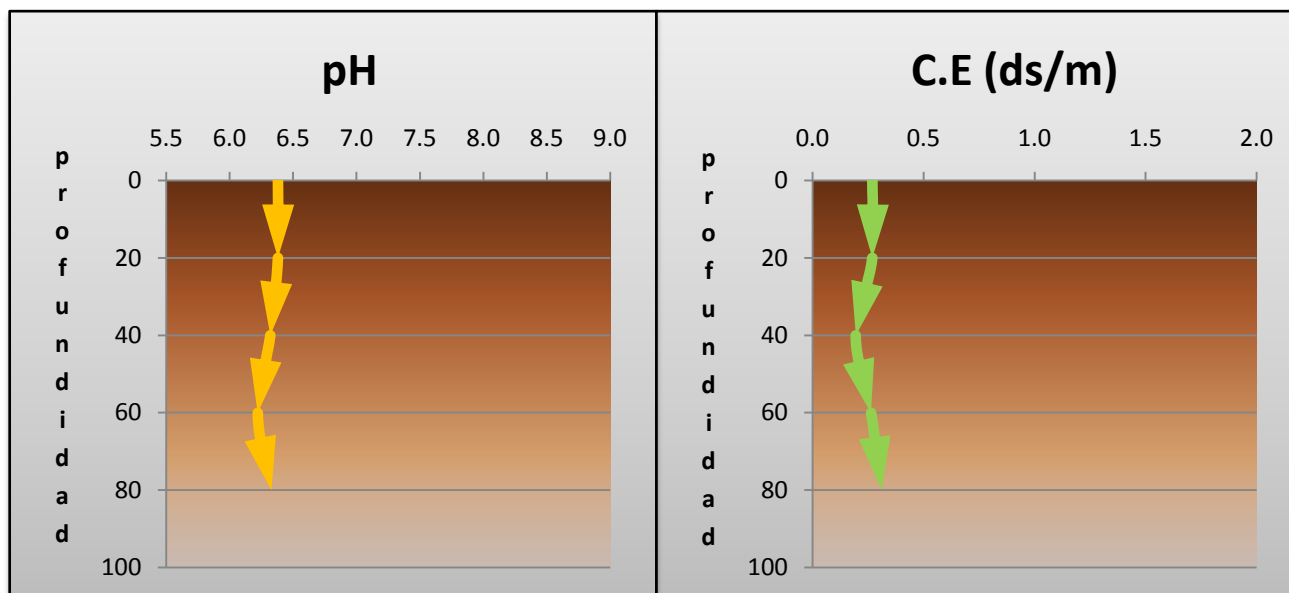


Figura 20: Descripción en profundidad de la C.E y el pH, en el municipio de Zarzal.

La tabla y la figura 20 también muestran que en promedio en Zarzal no predomina ningún tipo de problema relacionado con salinidad o posible predominancia de bicarbonatos, es más se observa que conforme se avanza en profundidad el pH tiende a disminuir y la C.E tiende a crecer pero levemente.

Adicionalmente a figura 21 muestra que los suelos en promedio en profundidad no poseen problemas de sodicidad; la RAS y el PSI presentan una tendencia a incrementar sus valores conforme avanza la profundidad, pero no es significativo el incremento, sin embargo y como sucede en casi todos los municipios, los problemas localizados muestran que la RAS y el PSI son las características que más se incrementan con la profundidad presentando valores cercanos a 6 en ambos casos.

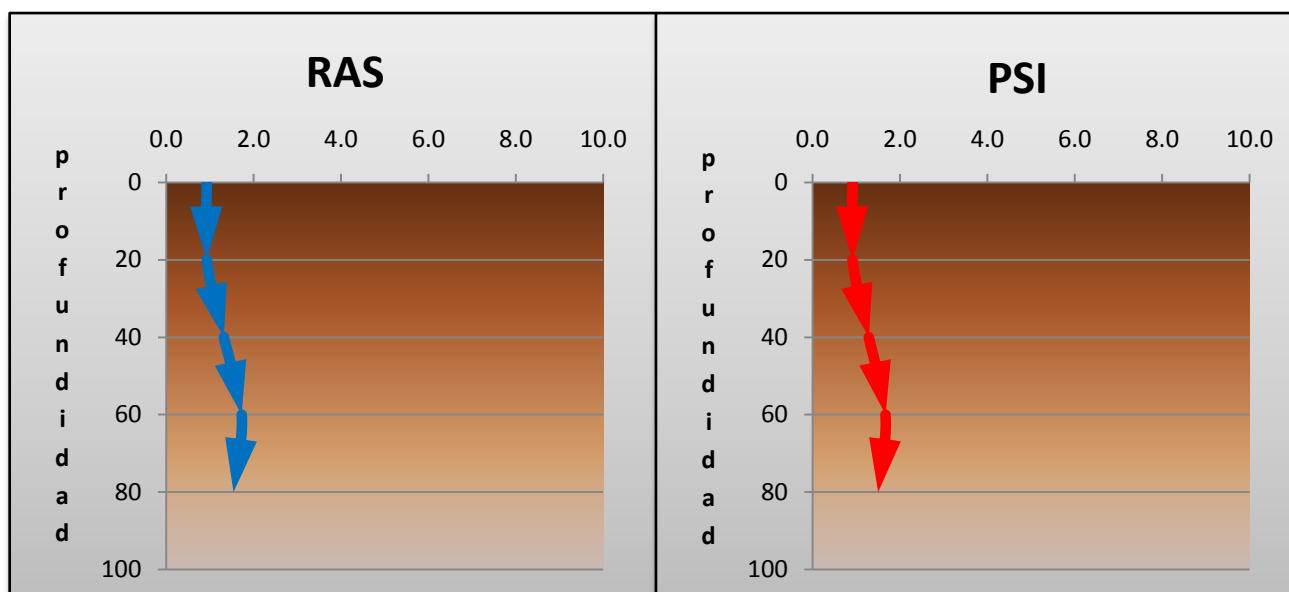


Figura 21: Descripción en profundidad de la RAS y el PSI, en el municipio de Zarzal.

Entonces, en profundidad se pudo observar que el problema no es generalizado y que los dos factores principales para la afectación de suelos por sales (Aguas y clima), no están relacionados directamente en algunos casos como los de la hacienda la Luisa, mientras que en la hacienda Santa Marta si se existe relación. Lo que muestra este hecho es que en Zarzal el factor agua de riego presenta una influencia relativa, el cual afecta los suelos tanto en superficie, como en profundidad.

Sin embargo, existen algunos problemas localizados que son de cuidado, en cuanto a su manejo para que el problema no se extienda o se generalice, por ejemplo:

- En la hacienda La Luisa del ingenio Rio Paila- Castilla, los contenidos de magnesio, sodio, sulfatos son medios en profundidades de 40 a 60 cm, pero en profundidades de 60 a 80 cm los problemas con magnesio, sodio y cloruros son de mayor cuidado, debido a que estos presentan niveles críticos en estos iones.
- La hacienda Santa Marta del ingenio Rio Paila-Castilla en profundidades de 20 a 40 cm, presenta niveles altos de RAS, niveles medio de sodio y de bicarbonatos, además las aguas presentan pH cercanos a 8, con presencia de niveles medios de bicarbonatos.

7.2.2 Bugalagrande

Superficial

En la tabla 13 se muestran las características que describen el grado de salinidad y sodicidad superficial en los extractos saturados de las muestras del municipio de Bugalagrande; en esta se puede observar que los suelos en promedio muestran conductividades eléctricas que no sobrepasan los 0.22 dS/m, que el pH en promedio tiende a ligeramente ácido (6.3), que los iones en promedio no presentan valores por encima de los 1.6 meq/L y que las RAS y PSI en promedio no son mayores a 1.3.

Tabla 13: Descripción general de la salinidad superficial en el municipio de Bugalagrande.

Bug/de	C.E (dS/m)	pH	Iones (meq/L)								RAS	PSI
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻		
Promedio	0.22	6.3	0.9	1.0	0.2	1.3	1.2	1.4	0.0	1.6	1.3	1.3
Desviación	0.15	1.0	0.8	0.8	0.2	0.9	0.4	1.1	0.0	1.5	1.3	0.6
Moda	0.10	6.7	0.4	0.5	0.1	0.6	1.0	0.7	0.0	0.0	-	-
Max	0.54	7.6	3.4	3.9	0.9	3.2	2.5	5.0	0.0	4.8	2.7	2.7
Min	0.09	3.9	0.3	0.3	0.0	0.4	0.7	0.4	0.0	0.0	0.6	0.6
Varianza	0.02	1.0	0.6	0.7	0.1	0.8	0.2	1.2	0.0	2.3	0.4	0.4

Es decir, se muestra claramente que el problema de salinidad (representado fundamentalmente por la C.E), no es un problema generalizado en el municipio y que aquellos valores que se muestran como máximos cercanos a 0.54 dS/m, no representan problemas localizados.

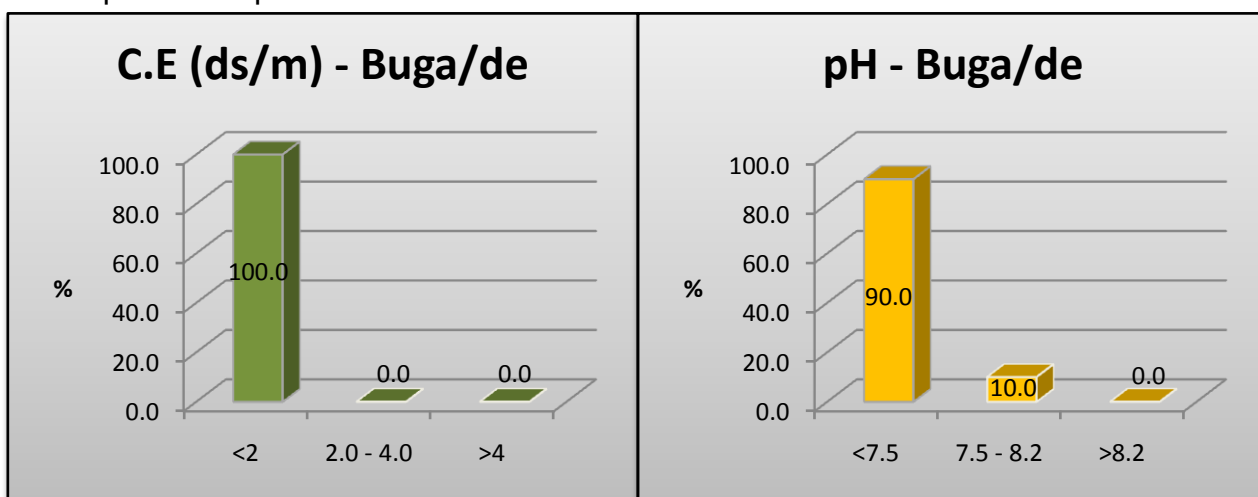


Figura 22: Descripción en el municipio de Bugalagrande de la conductividad eléctrica y el pH en superficie.

La tabla y la figura 22 también muestran que en general en el municipio no predomina ningún tipo de problema relacionado con salinidad o sodicidad y que tampoco la presencia de algún ión (como bicarbonato por ejemplo) representa un riesgo potencial para los suelos. En esta se muestra que en el 100% de los suelos la C.E nunca sobrepasó los 2 dS/m y que en el pH presentó valores por debajo de 7.5 en un 90% y superiores a este en un 10% solamente.

Adicionalmente, la figura 23 muestra mucho más específicamente que los suelos del municipio no poseen problemas de sodicidad, es decir que indicadores como la R.A.S. (100%) y el P.S.I. (100%) no sobrepasaron los valores críticos (3 y 7 respectivamente); sin embargo se puede observar en la misma figura, que existe un 55% de los suelos que tiene un riesgo leve con RAS entre 1 y 3, y 55% con valores cercanos a 7 en el PSI.

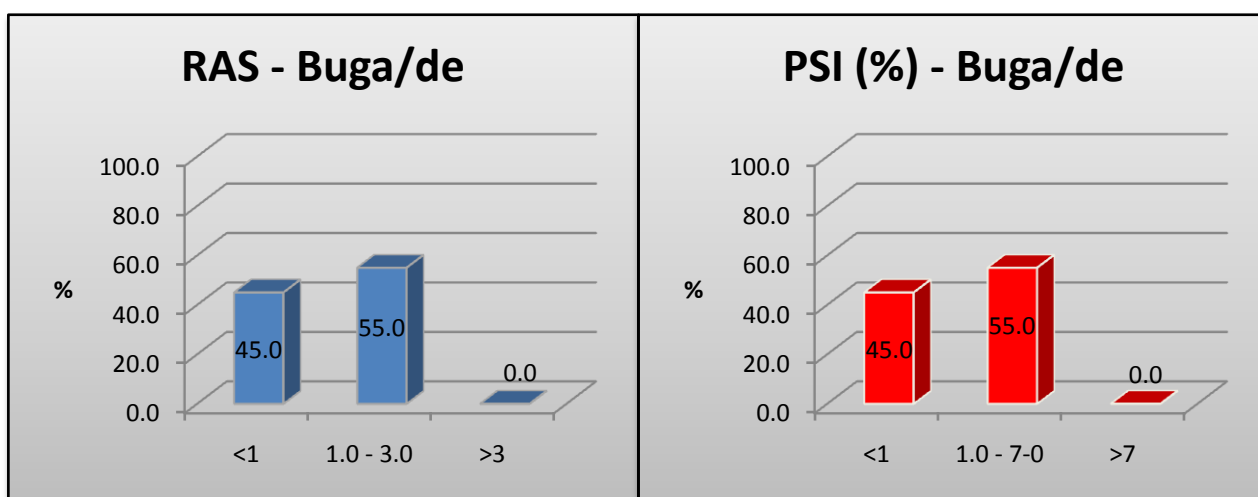


Figura 23: Descripción en el municipio de Bugalagrande de la R.A.S. y el P.S.I. en superficie.

En este municipio las condiciones climáticas son bastante adversas, en el se presenta déficit de humedad en 7 meses del año; entonces esto hace que el principal factor para la afectación de suelos por sales (el agua de riego), pueda incidir de manera notable; pero no se observa una relación entre el contenido de sales en los suelos y las características de las aguas de riego. Es decir cuando el agua de riego presentaba valores considerables de sales o RAS, el suelo no los presenta en su gran mayoría el único caso se presentó en la hacienda El Guabito.

Sin embargo, aunque el problema no es generalizado en el municipio, algunos problemas localizados son de cuidado, en estos se debe tener cuidado para que el problema no se extienda o se torne en una situación crítica, por ejemplo:

- En las haciendas Venecia, Peralonso y Samaria del ingenio Rio Paila-Castilla, se presentaron valores de RAS cercanos a los niveles críticos, además de niveles medios de sodio, sulfatos y bicarbonatos en las dos primeras haciendas.
- La hacienda El Guabito, tiene presencia de niveles medios de sulfatos y bicarbonatos, en esta hacienda el suelo ha asimilado los niveles medio de bicarbonatos de sus aguas de riego que presentan las mismas características.

Profundidad

En la tabla 14 se muestran las características de las muestras recolectadas en profundidad; en esta se observa que los suelos del municipio de Bugalagrande en promedio en todas las profundidades muestran conductividades eléctricas que no sobrepasan los 0.38 dS/m, que el pH tiende a ligeramente ácido (6.1 - 6.3), que los iones en promedio no presentan valores por encima de los 3 meq/L excepto los sulfatos y, que las RAS y PSI en promedio no son mayores a 2.5 pero que tienden a incrementar considerablemente con la profundidad.

Tabla 14: Descripción de la salinidad en profundidad en el municipio de Bugalagrande.

Buga/de	Prof. (cm)	C.E (dS/m)	pH	Iones (meq/L)								RAS	PSI
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻		
Promedio	0-20	0.22	6.3	0.9	1.0	0.2	1.3	1.2	1.4	0.0	1.6	1.3	1.3
Desviación		0.15	1.0	0.8	0.8	0.2	0.9	0.4	1.1	0.0	1.5	1.3	0.6
Moda		0.10	6.7	0.4	0.5	0.1	0.6	1.0	0.7	0.0	0.0	-	-
Max		0.54	7.6	3.4	3.9	0.9	3.2	2.5	5.0	0.0	4.8	2.7	2.7
Min		0.09	3.9	0.3	0.3	0.0	0.4	0.7	0.4	0.0	0.0	0.6	0.6
Varianza		0.02	1.0	0.6	0.7	0.1	0.8	0.2	1.2	0.0	2.3	0.4	0.4
Promedio	20-40	0.24	6.4	0.7	1.0	0.2	1.4	1.1	1.8	0.0	1.4	1.7	1.6
Desviación		0.19	1.1	0.9	1.0	0.2	1.0	0.3	1.2	0.0	1.1	0.8	0.8
Moda		0.10	5.3	0.2	0.3	0.1	0.7	0.8	-	0.0	0.0	-	-
Max		0.87	7.9	3.9	4.8	0.9	3.4	2.0	5.0	0.0	3.4	3.1	3.0
Min		0.09	3.8	0.2	0.3	0.0	0.5	0.8	0.5	0.0	0.0	0.7	0.7
Varianza		0.04	1.2	0.7	1.1	0.1	0.9	0.1	1.5	0.0	1.3	0.7	0.6
Promedio	40-60	0.28	6.3	0.8	1.2	0.2	2.4	1.1	3.0	0.0	1.1	2.3	2.3
Desviación		0.23	1.2	0.9	1.4	0.4	2.5	0.5	3.4	0.0	1.0	1.5	1.4
Moda		0.16	6.8	0.3	0.4	0.0	0.7	0.9	-	0.0	0.0	-	-
Max		0.93	7.9	3.2	5.5	1.6	9.2	2.4	12.7	0.0	3.8	6.1	5.7
Min		0.06	3.9	0.2	0.3	0.0	0.7	0.7	0.3	0.0	0.0	1.0	1.0
Varianza		0.05	1.3	0.7	1.9	0.1	6.2	0.2	11.5	0.0	1.0	2.4	2.1
Promedio	60-80	0.38	6.1	1.0	1.7	0.1	2.9	1.1	3.2	0.0	0.9	2.5	2.4
Desviación		0.43	1.2	1.2	2.5	0.1	3.6	0.5	3.8	0.0	0.9	1.9	1.8
Moda		0.10	6.6	-	-	0.1	-	1.2	-	0.0	2.2	-	-
Max		1.60	7.6	3.9	10.5	0.3	13.8	2.7	13.6	0.0	2.8	8.5	7.8
Min		0.05	3.9	0.0	0.0	0.0	0.4	0.7	0.5	0.0	0.0	0.8	0.8
Varianza		0.18	1.4	1.5	6.4	0.0	13.2	0.3	14.6	0.0	0.9	3.8	3.2

Esta tabla muestra claramente que el comportamiento de todas las características en profundidad es relativamente similar al presentado en superficie y que la salinidad (representada por la C.E,) no es un problema generalizado en los suelos del municipio de Bugalagrande ni en profundidad ni en superficie y que aquellos valores que se muestran como máximos cercanos a 0.4 dS/m, no representa ningún problema localizado en cuanto a C.E, pero si en algunos iones.

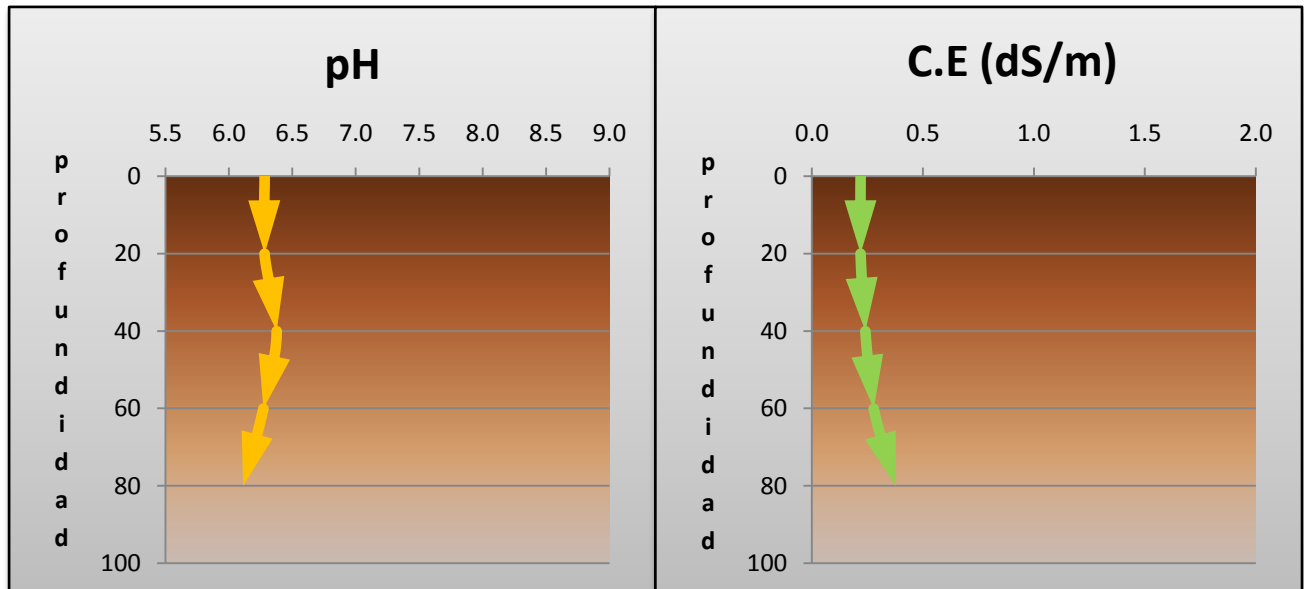


Figura 24: Descripción en profundidad de la C.E y el pH, en el municipio de Bugalagrande.

La tabla y la figura 24 también muestran que en promedio en Bugalagrande no predomina ningún tipo de problema relacionado con salinidad o posible predominancia de bicarbonatos, es más se observa que conforme se avanza en profundidad el pH tiende a disminuir y la C.E tiende a crecer pero levemente.

Adicionalmente a figura 25 muestra que los suelos en promedio en profundidad no poseen problemas de sodicidad; la RAS y el PSI presentan una tendencia a incrementar sus valores conforme avanza la profundidad, pero no es significativo dicho incremento, sin embargo y como sucede en casi todos los municipios, los problemas localizados muestran que la RAS y el PSI son las características que más se incrementan con la profundidad presentando valores cercanos a 9 y 8 respectivamente.

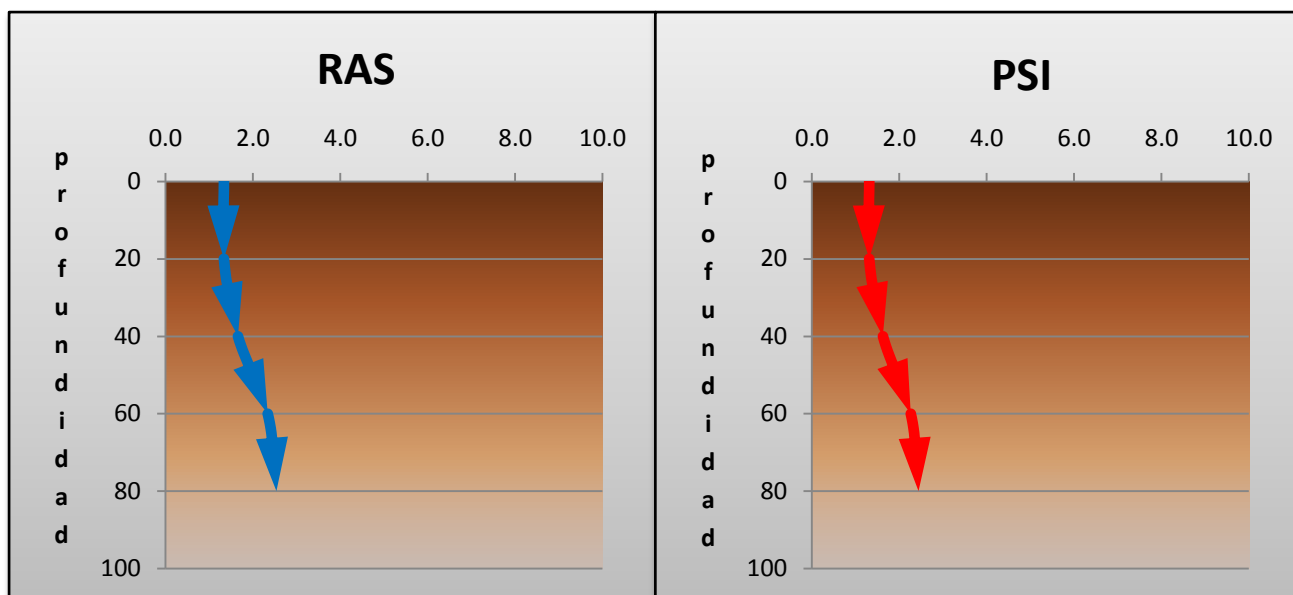


Figura 25: Descripción en profundidad de la RAS y el PSI, en el municipio de Bugalagrande.

Entonces, en profundidad se pudo observar que el problema no es generalizado y que los dos factores principales para la afectación de suelos por sales (Aguas y clima), no están relacionados directamente en algunos casos como los de la hacienda Santa Rosa, Samaria, Valparaiso y Peralonso mientras que en la hacienda El Guabito, Venecia y Normandia si se existe relación. Lo que muestra este hecho es que en Bugalagrande el factor agua de riego presenta una influencia relativa, el cual afecta los suelos en profundidad.

Entonces, los problemas localizados son de cuidado, en cuanto a su manejo para que el problema no se extienda o se generalice, por ejemplo:

- Normandía, Santa Rosa, Samaria, Venecia, Valparaiso del ingenio Rio Paila-Castilla presenta RAS cercana a 3 en profundidades de 20 a 40.
- El Guabito del ingenio Rio Paila-Castilla presenta niveles considerables de sulfatos y sodio en profundidades de 20 a 40 y 40 a 60 cm. y de bicarbonatos en Lucerna Bogotá de 20 a 40.
- En Valparaiso y Normandia del ingenio Rio Paila-Castilla niveles altos de sodio en profundidad de 40 a 60 cm.
- Pearlonso Valparaiso y Normandia del Ingenio Rio Paila-Castilla, presentaron RAS en niveles críticos en profundidades de 40 a 60 cm. y en Santa Rosa contenidos altos de sulfatos.

- Valparaiso, Normandia y Santa Rosa del Ingenio Rio Paila-Castilla, presenta niveles altos de RAS magnesio, sodio y sulfatos en profundidades de 60 a 80 cm y medios en el Guabito en la misma profundidad.

7.2.3 Tuluá

Superficial

En la tabla 15 se muestran las características que describen el grado de salinidad y sodicidad superficial en los extractos saturados de las muestras del municipio de Tuluá; en esta se puede observar que los suelos en promedio muestran conductividades eléctricas que no sobrepasan los 0.16 dS/m, que el pH en promedio tiende a la neutralidad (6.7), que los iones en promedio no presentan valores por encima de los 1.4 meq/L y que las RAS y PSI en promedio no son mayores a 1.

Tabla 15: Descripción general de la salinidad superficial en el municipio de Tuluá.

Tuluá	C.E (dS/m)	pH	Iones (meq/L)								RAS	PSI
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻		
Promedio	0.16	6.7	1.2	1.1	0.2	0.6	1.4	0.8	0.0	1.3	0.6	0.6
Desviación	0.06	0.6	0.6	0.7	0.2	0.4	0.5	0.2	0.0	0.9	0.3	0.3
Moda	0.18	6.6	0.8	-	0.1	0.4	1.0	0.7	0.0	-	-	-
Max	0.30	7.3	2.6	2.9	0.7	1.6	2.5	1.5	0.0	3.5	1.4	1.4
Min	0.04	5.1	0.4	0.5	0.1	0.4	0.8	0.5	0.0	0.3	0.3	0.3
Varianza	0.00	0.3	0.4	0.5	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.8	0.1	0.1

Es decir, se muestra claramente que el problema de salinidad (representado fundamentalmente por la C.E), no es un problema generalizado en el municipio y que aquellos valores que se muestran como máximos cercanos a 0.3 dS/m, no representan problemas localizados.

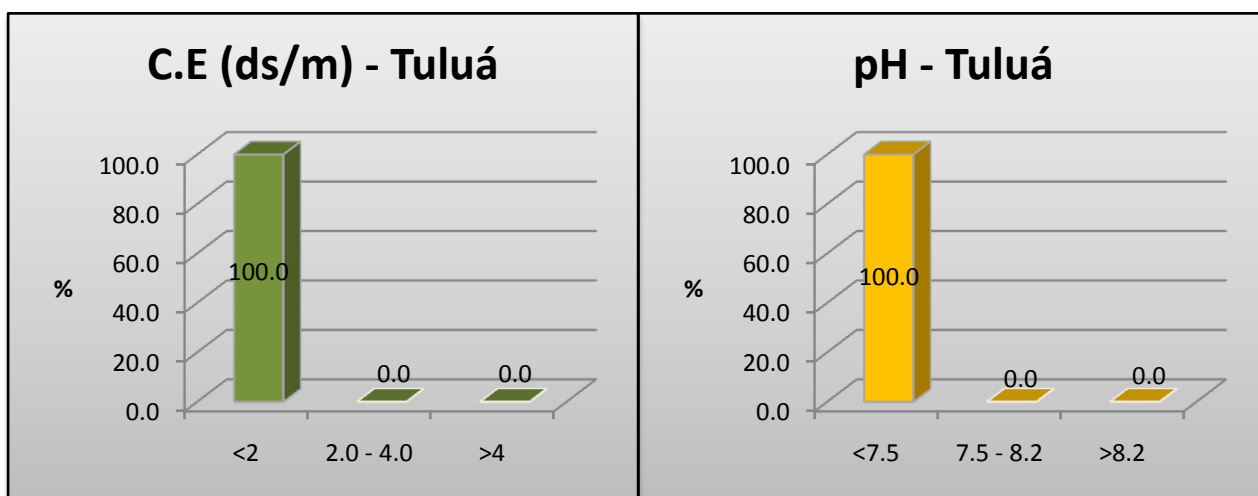


Figura 26: Descripción en el municipio de Tuluá de la conductividad eléctrica y el pH en superficie.

La tabla y la figura 26 también muestran que en general en el municipio no predomina ningún tipo de problema relacionado con salinidad o sodicidad y que tampoco la presencia de algún ión (como bicarbonato por ejemplo) representa un riesgo potencial para los suelos. En esta se muestra que en el 100% de los suelos la C.E nunca sobrepasó los 2 dS/m y que en el pH nunca sobrepasó los 7.5.

Adicionalmente, la figura 27 muestra mucho más específicamente que los suelos del municipio no poseen problemas de sodicidad, es decir que indicadores como la R.A.S. (100%) y el P.S.I. (100%) no sobrepasaron los valores críticos (3 y 7 respectivamente); sin embargo se puede observar en la misma figura, que existe solo un 13.3% de los suelos que tiene un riesgo leve con RAS entre 1 y 3, y PSI cercanos a 7.

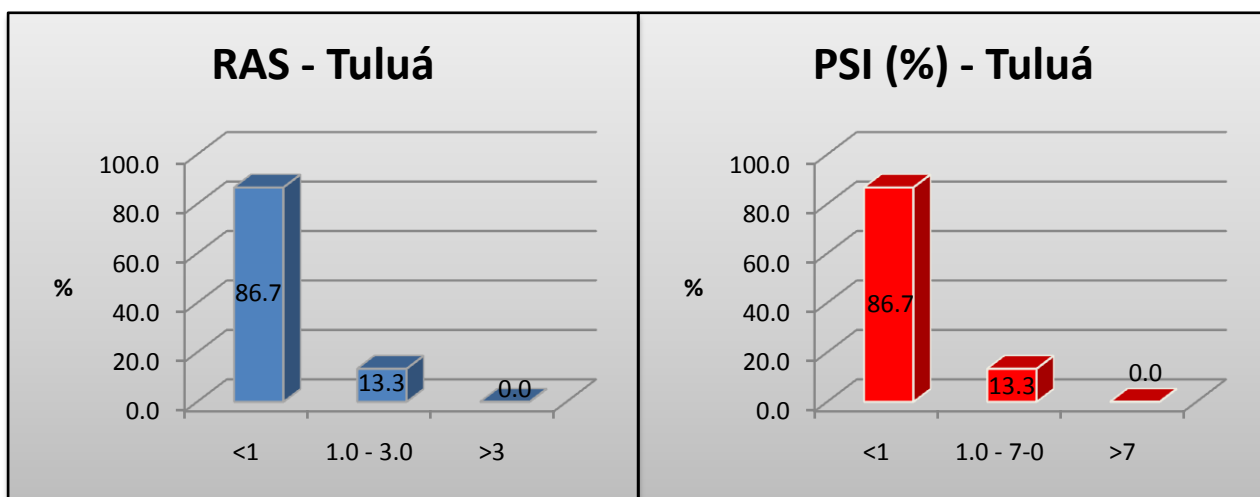


Figura 27: Descripción en el municipio de Tuluá de la R.A.S. y el P.S.I. en superficie.

En este municipio las condiciones climáticas son adversas, en él se presenta déficit de humedad en 6 meses del año; entonces esto hace que el principal factor para la afectación de suelos por sales (el agua de riego), pueda incidir de manera notable; pero no se observa una relación entre el contenido de sales en los suelos y las características de las aguas de riego. Es decir cuando el agua de riego presentaba valores considerables de sales, el suelo no los presenta en ningún caso. Es decir el municipio no cuenta con problemas localizados de salinidad, sodicidad o niveles críticos de algún ion.

Sin embargo, aunque no existan problemas localizados, se deben manejar con cuidado algunas aguas de riego, por ejemplo:

- En las haciendas Chundular, San Ignacio del ingenio San Carlos y La Primavera del Ingenio Carmelita, las aguas de riego presentan niveles medios de bicarbonatos y de sodio.
- La hacienda Danubio del ingenio San Carlos, presenta niveles altos de bicarbonatos y medios de Calcio y sodio.

Profundidad

En la tabla 16 se muestran las características de las muestras recolectadas en profundidad; en esta se observa que los suelos del municipio de Tuluá en promedio en todas las profundidades muestran conductividades eléctricas que no sobrepasan los 0.18 dS/m, que el pH tiende a la neutralidad (6.4 - 6.7), que los iones en promedio no presentan valores por encima de los 1.4 meq/L y que las RAS y PSI en promedio no son mayores a 1.1 pero tienden a incrementarse levemente con la profundidad.

Tabla 16: Descripción de la salinidad en profundidad en el municipio de Tuluá.

Tuluá	Prof. (cm)	C.E (dS/m)	pH	Iones (meq/L)								RAS	PSI
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻		
Promedio	0-20	0.16	6.7	1.2	1.1	0.2	0.6	1.4	0.8	0.0	1.3	0.6	0.6
Desviación		0.06	0.6	0.6	0.7	0.2	0.4	0.5	0.2	0.0	0.9	0.3	0.3
Moda		0.18	6.6	0.8	-	0.1	0.4	1.0	0.7	0.0	-	-	-
Max		0.30	7.3	2.6	2.9	0.7	1.6	2.5	1.5	0.0	3.5	1.4	1.4
Min		0.04	5.1	0.4	0.5	0.1	0.4	0.8	0.5	0.0	0.3	0.3	0.3
Varianza		0.00	0.3	0.4	0.5	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.8	0.1	0.1
Promedio	20-40	0.17	6.6	0.9	0.9	0.1	0.8	1.4	0.6	0.0	1.2	0.9	0.9
Desviación		0.09	1.1	0.4	0.4	0.1	0.4	0.3	0.2	0.0	0.8	0.6	0.6
Moda		0.21	7.5	0.7	0.9	0.1	-	1.0	0.5	0.0	0.0	-	-
Max		0.37	7.5	1.5	1.8	0.4	1.7	2.0	1.0	0.0	2.9	2.7	2.7
Min		0.01	3.9	0.3	0.4	0.0	0.4	1.0	0.4	0.0	0.0	0.4	0.4
Varianza		0.01	1.2	0.1	0.1	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.7	0.4	0.4
Promedio	40-60	0.18	6.6	0.6	0.7	0.1	0.8	1.4	0.6	0.0	0.9	1.1	1.1
Desviación		0.06	1.0	0.2	0.3	0.1	0.4	0.3	0.2	0.0	0.6	0.8	0.7
Moda		0.18	6.9	0.8	0.7	0.1	0.6	1.1	0.6	0.0	1.0	-	-
Max		0.28	7.6	0.9	1.3	0.4	1.8	1.8	1.0	0.0	1.9	3.7	3.5
Min		0.05	4.1	0.1	0.4	0.0	0.4	0.9	0.3	0.0	0.0	0.5	0.5
Varianza		0.00	1.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.4	0.6	0.6
Promedio	60-80	0.16	6.4	0.6	0.7	0.1	0.9	1.3	0.7	0.0	0.9	1.1	1.1
Desviación		0.06	1.0	0.2	0.3	0.2	0.6	0.3	0.4	0.0	0.7	0.9	0.8
Moda		0.13	6.7	-	0.6	0.1	0.5	1.0	0.4	0.0	-	-	-
Max		0.25	7.1	1.2	1.2	0.6	2.7	1.8	1.7	0.0	2.2	4.0	3.9
Min		0.05	3.9	0.2	0.3	0.0	0.3	0.9	0.3	0.0	0.0	0.4	0.4
Varianza		0.00	0.9	0.1	0.1	0.0	0.4	0.1	0.2	0.0	0.4	0.8	0.7

Esta tabla muestra claramente que el comportamiento de todas las características en profundidad es relativamente similar al presentado en superficie y que la salinidad (representada por la C.E.) no es un problema generalizado en los suelos del municipio de Tuluá ni en profundidad ni en superficie y que aquellos valores que se muestran como máximos cercanos a 0.18 dS/m, no representa ningún problema localizado.

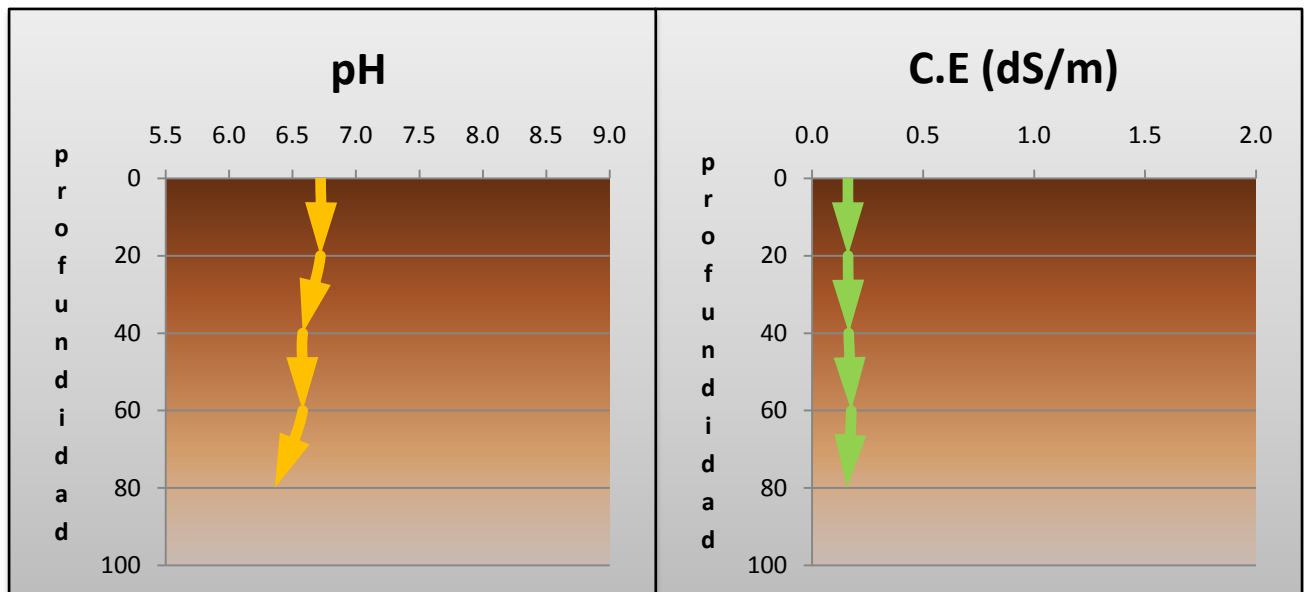


Figura 28: Descripción en profundidad de la C.E y el pH, en el municipio de Tuluá.

La tabla y la figura 28 también muestran que en promedio en Tuluá no predomina ningún tipo de problema relacionado con salinidad o posible predominancia de bicarbonatos, es más se observa que conforme se avanza en profundidad el pH tiende a disminuir y la C.E tiende a permanecer constante.

Adicionalmente la figura 29 muestra que los suelos en promedio en profundidad no poseen problemas de sodicidad; la RAS y el PSI presentan una tendencia a incrementar sus valores conforme avanza la profundidad, pero no es significativo dicho incremento, sin embargo y como sucede en casi todos los municipios, los problemas localizados muestran que la RAS y el PSI son las características que más se incrementan con la profundidad presentando valores cercanos a 4 en ambos casos.

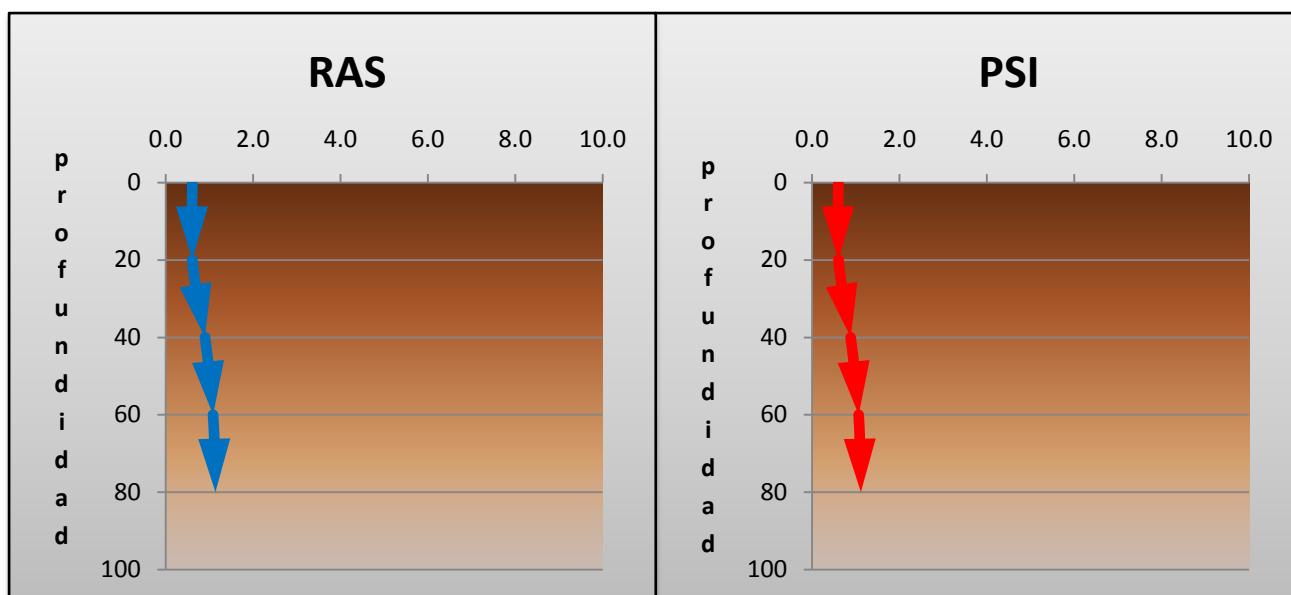


Figura 29: Descripción en profundidad de la RAS y el PSI, en el municipio de Tuluá.

Entonces, en profundidad se pudo observar que el problema no es generalizado y que los dos factores principales para la afectación de suelos por sales (Aguas y clima), no están relacionados directamente en ningún caso. Lo que muestra este hecho es que en Tuluá el factor agua de riego no genera ningún impacto en los suelos ni en superficie ni en profundidad.

Entonces, los problemas localizados son medios en profundidades de 20 a 40 cm y altos de 60 a 80 cm. por ejemplo:

- Ballesteros del ingenio San Carlos, presenta RAS cercanas y mayores a 3.

Sin embargo el manejo de las aguas de riego debe realizarse con cuidado como se indicó anteriormente (en la descripción superficial del municipio).

7.2.4 San Pedro

Superficial

En la tabla 17 se muestran las características que describen el grado de salinidad y sodicidad superficial en los extractos saturados de las muestras del municipio de San Pedro; en esta se puede observar que los suelos en promedio muestran conductividades eléctricas que no sobrepasan los 0.16 dS/m, que el pH en promedio tiende a la neutralidad (7), que los iones en promedio no presentan valores por encima de los 1.8 meq/L y que las RAS y PSI en promedio no son mayores a 1.4.

Tabla 17: Descripción general de la salinidad superficial en el municipio de San Pedro.

San Pedro	C.E (dS/m)	pH	Iones (meq/L)								RAS	PSI
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻		
Promedio	0.16	7.0	1.2	1.2	0.1	1.8	1.2	1.1	0.0	2.2	1.4	1.4
Desviación	0.07	0.5	1.2	1.5	0.0	3.2	0.2	1.3	0.0	1.4	1.2	1.2
Moda	0.10	7.5	-	-	0.0	0.5	1.0	0.6	0.0	2.5	-	-
Max	0.30	7.7	5.1	6.4	0.2	13.1	1.7	5.7	0.0	5.7	5.5	5.2
Min	0.08	5.8	0.4	0.3	0.0	0.5	0.8	0.4	0.0	0.4	0.4	0.4
Varianza	0.01	0.2	1.4	2.3	0.0	10.0	0.1	1.8	0.0	1.9	1.5	1.4

Es decir, se muestra claramente que el problema de salinidad (representado fundamentalmente por la C.E), no es un problema generalizado en el municipio y que aquellos valores que se muestran como máximos cercanos a 0.3 dS/m, no representan problemas localizados.

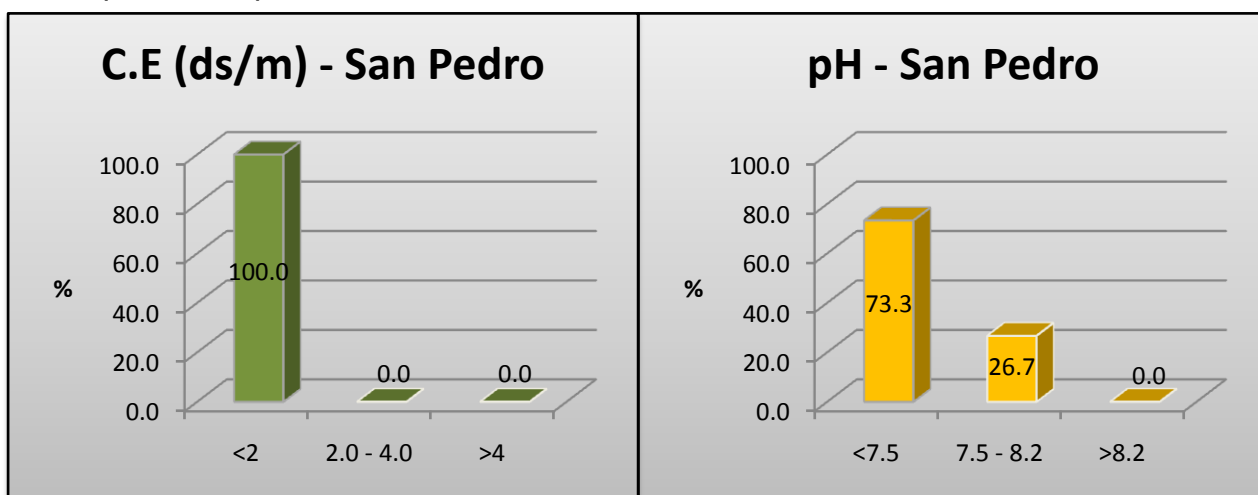


Figura 30: Descripción en el municipio de San Pedro de la conductividad eléctrica y el pH en superficie.

La tabla y la figura 30 también muestran que en general en el municipio no predomina ningún tipo de problema relacionado con salinidad o sodicidad y que tampoco la presencia de algún ión, representa un riesgo potencial para los suelos. En esta se muestra que en el 100% de los suelos la C.E nunca sobrepaso los 2 dS/m y que en el pH el 73% es menor a 7.5 y que solo el 27% sobrepaso 7.5 pero no supero 8.

Adicionalmente, la figura 31 muestra mucho más específicamente que los suelos del municipio no poseen problemas de sodicidad, es decir que indicadores como la R.A.S. (93%) y el P.S.I. (100%) no sobrepasaron los valores críticos (3 y 7 respectivamente); sin embargo se puede observar en la misma figura, que existe solo un 7% de los suelos que tiene un riesgo considerable con RAS mayores a 3, y 60 de PSI cercanos a 7.

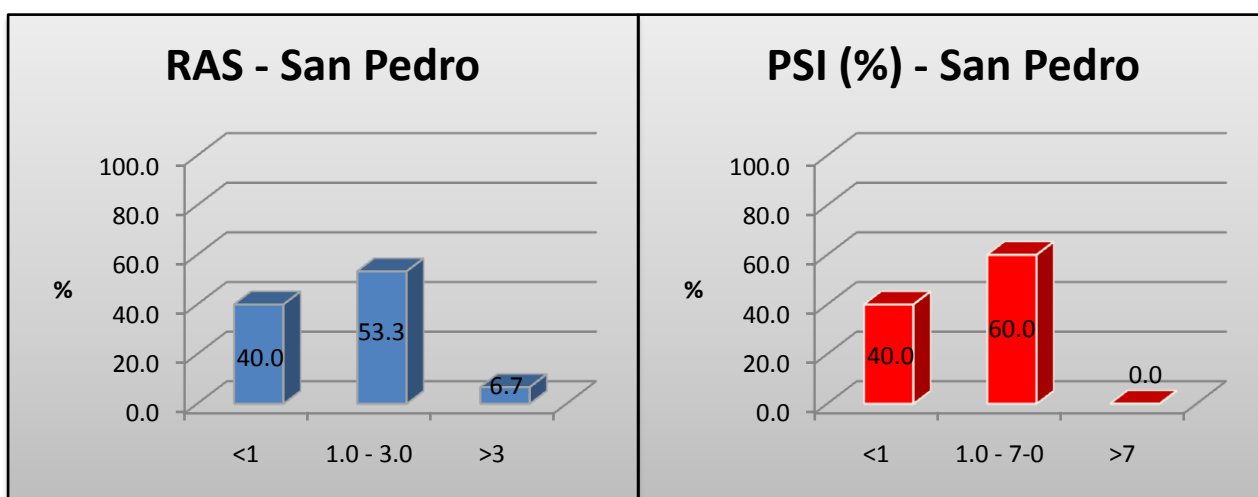


Figura 31: Descripción en el municipio de San Pedro de la R.A.S. y el P.S.I. en superficie.

En este municipio no se tienen registros de sus condiciones climáticas, pero se espera un comportamiento similar al resto de municipio del Valle del Cauca. En este se observa una relación directa entre el contenido de sales en los suelos y las características de las aguas de riego. Es decir cuando el agua de riego presentaba valores considerables de sales, el suelo también.

Entonces, en el municipio de San Pedro solo se presentan dos problemas localizados en los suelos, acompañados de aguas de riego de muy mala calidad, por ejemplo:

- En las hacienda María C. Palau del Ingenio San Carlos, los suelos presentaron niveles medios de bicarbonatos y el agua de riego contenidos altos de bicarbonatos.

- La hacienda Chambimbal del ingenio Pichichí, presenta en sus suelos niveles altos de RAS y sodio, además de niveles medios de magnesio y sulfatos. El agua de riego presenta valores altos de bicarbonato y medios de calcio y sodio.

Profundidad

En la tabla 18 se muestran las características de las muestras recolectadas en profundidad; en esta se observa que los suelos del municipio de San Pedro en promedio en todas las profundidades muestran conductividades eléctricas que no sobrepasan los 0.16 dS/m, que el pH tiende a la neutralidad (6.7 - 7), que los iones en promedio no presentan valores por encima de los 5.1 meq/L y que las RAS y PSI en promedio no son mayores a 3.6 pero tienden a incrementarse levemente con la profundidad.

Tabla 18: Descripción de la salinidad en profundidad en el municipio de San Pedro.

San Pedro	Prof. (cm)	C.E (dS/m)	pH	Iones (meq/L)								RAS	PSI
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻		
Promedio	0-20	0.16	7.0	1.2	1.2	0.1	1.8	1.2	1.1	0.0	2.2	1.4	1.4
Desviación		0.07	0.5	1.2	1.5	0.0	3.2	0.2	1.3	0.0	1.4	1.2	1.2
Moda		0.10	7.5	-	-	0.0	0.5	1.0	0.6	0.0	2.5	-	-
Max		0.30	7.7	5.1	6.4	0.2	13.1	1.7	5.7	0.0	5.7	5.5	5.2
Min		0.08	5.8	0.4	0.3	0.0	0.5	0.8	0.4	0.0	0.4	0.4	0.4
Varianza		0.01	0.2	1.4	2.3	0.0	10.0	0.1	1.8	0.0	1.9	1.5	1.4
Promedio	20-40	0.14	7.0	1.3	2.0	0.1	3.3	1.1	1.0	0.0	1.3	2.2	2.1
Desviación		0.08	0.5	2.7	5.2	0.0	7.3	0.3	0.9	0.0	0.6	1.9	1.8
Moda		0.10	7.2	0.5	0.7	0.0	0.5	1.1	0.5	0.0	1.5	-	-
Max		0.30	7.8	11.1	20.9	0.2	29.2	1.7	3.9	0.0	2.4	7.3	6.8
Min		0.06	5.6	0.2	0.2	0.0	0.5	0.7	0.4	0.0	0.4	0.5	0.5
Varianza		0.01	0.3	7.5	27.5	0.0	53.3	0.1	0.8	0.0	0.3	3.8	3.3
Promedio	40-60	0.15	6.9	1.5	3.2	0.1	4.7	1.0	1.1	0.0	1.2	3.3	3.2
Desviación		0.11	0.6	3.6	9.4	0.1	9.7	0.2	1.0	0.0	0.6	2.9	2.7
Moda		0.10	6.7	-	-	0.0	-	1.0	0.5	0.0	1.4	-	-
Max		0.50	7.5	14.3	37.0	0.2	38.2	1.3	3.6	0.0	2.4	9.7	8.8
Min		0.06	5.2	0.1	0.1	0.0	0.4	0.6	0.3	0.0	0.2	0.4	0.4
Varianza		0.01	0.4	13.1	88.2	0.0	94.7	0.0	1.1	0.0	0.4	8.4	7.1
Promedio	60-80	0.16	6.7	1.5	3.3	0.1	5.1	1.2	1.2	0.0	1.2	3.6	3.4
Desviación		0.12	0.9	3.1	8.3	0.0	9.7	0.3	1.2	0.0	0.7	3.1	2.9
Moda		0.10	7.4	0.3	0.6	0.0	0.4	1.0	-	0.0	1.1	-	-
Max		0.50	7.6	10.5	31.5	0.2	35.6	2.0	4.8	0.0	3.0	9.6	8.8
Min		0.05	4.5	0.1	0.1	0.0	0.3	0.6	0.4	0.0	0.2	0.5	0.5
Varianza		0.01	0.8	9.7	69.3	0.0	93.7	0.1	1.4	0.0	0.5	9.8	8.2

Esta tabla muestra claramente que el comportamiento de todas las características en profundidad es relativamente similar al presentado en superficie y que la salinidad (representada por la C.E.) no es un problema generalizado en los suelos del municipio de San Pedro ni en profundidad ni en superficie y que aquellos valores que se muestran como máximos cercanos a 0.16 dS/m, no representa ningún problema localizado en cuanto a salinidad, pero si se presentan problemas localizados específicamente con los iones magnesio y sodio, tanto en superficie como en profundidad.

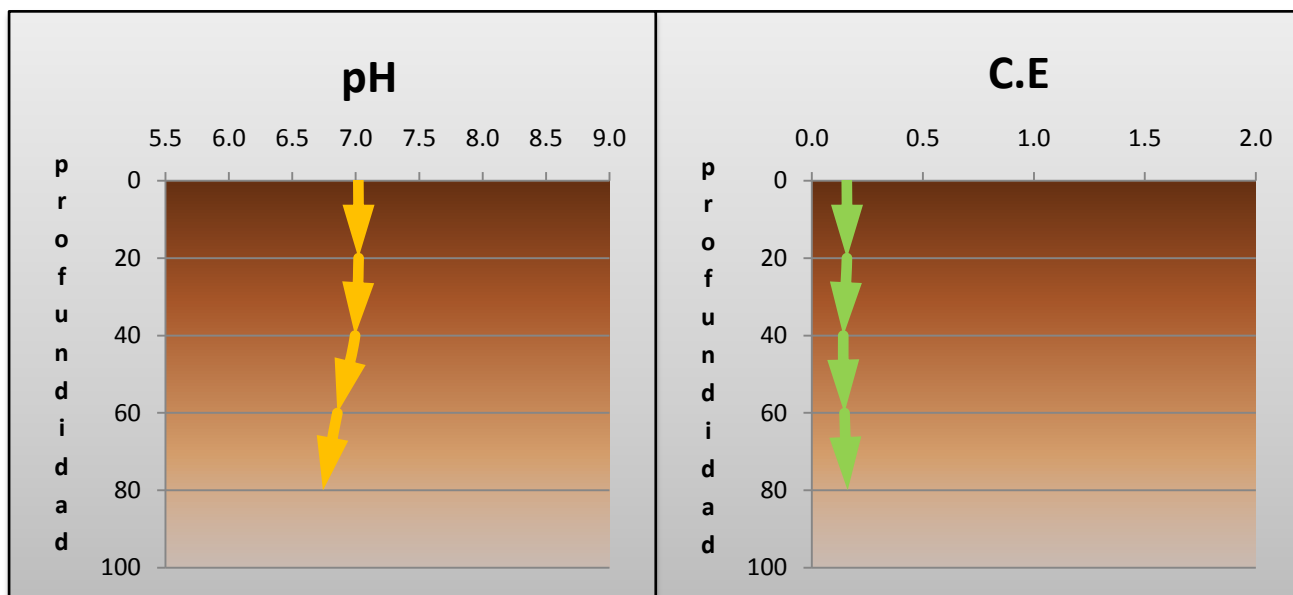


Figura 32: Descripción en profundidad de la C.E y el pH, en el municipio de San Pedro.

La tabla y la figura 32 también muestran que en promedio en San Pedro no predomina ningún tipo de problema relacionado con salinidad o posible predominancia de bicarbonatos, es más se observa que conforme se avanza en profundidad el pH tiende a disminuir y la C.E tiende a permanecer constante.

Adicionalmente la figura 33 muestra que los suelos en promedio en profundidad tienden a presentar problemas de sodicidad; porque la RAS y el PSI presentan una tendencia a incrementar sus valores conforme avanza la profundidad, hacia valores que representan riesgo; además se presentan problemas localizados en varias haciendas llegando a valores de RAS y el PSI cercanos a 10 en ambos casos.

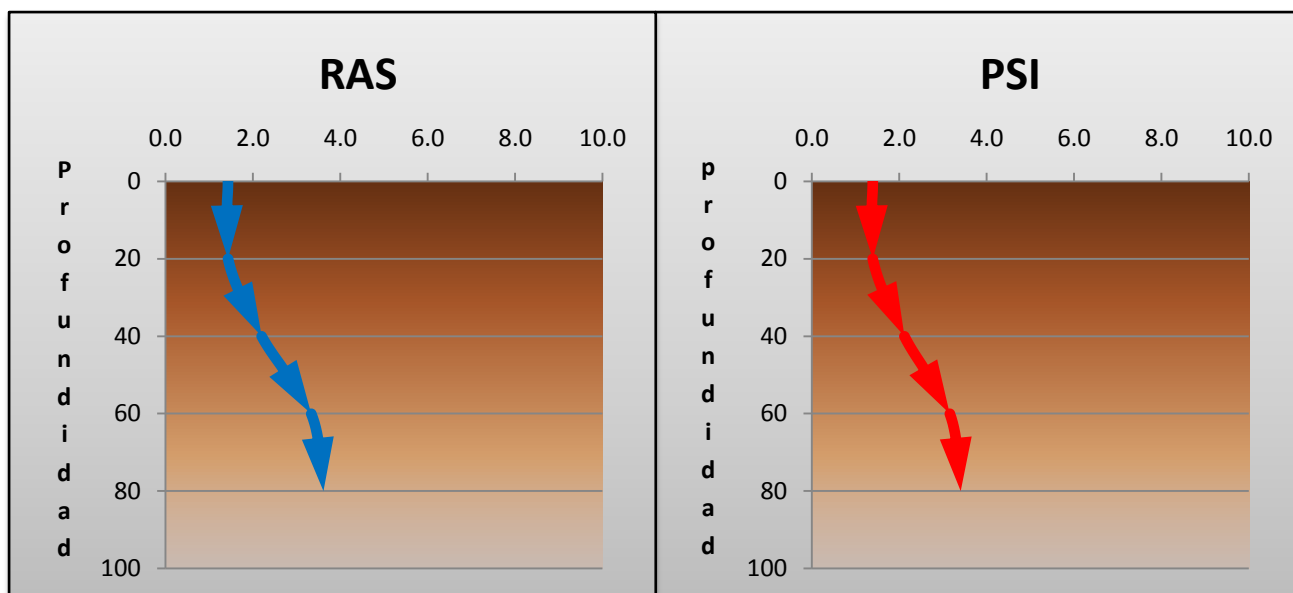


Figura 33: Descripción en profundidad de la RAS y el PSI, en el municipio de San Pedro.

Entonces, en profundidad se pudo observar que el problema no es generalizado y que los dos factores principales para la afectación de suelos por sales (Aguas y clima), están relacionados directamente con lo observado en el suelo (aunque no se tengan registros de clima). Lo que muestra este hecho es que en San Pedro el factor agua de riego genera impacto directo en los suelos tanto en superficie como en profundidad.

Entonces, en el municipio de San Pedro solo se encuentra un problema localizado:

- La hacienda Chambimbal del ingenio Pichichí, presenta niveles muy altos de magnesio, sodio y RAS en todas las profundidades al igual que en superficie, además se debe recordar que esta hacienda cuenta con problemas en sus aguas de riego.

7.2.5 Buga

Superficial

En la tabla 19 se muestran las características que describen el grado de salinidad y sodicidad superficial en los extractos saturados de las muestras del municipio de Buga; en esta se puede observar que los suelos en promedio muestran conductividades eléctricas que no sobrepasan los 0.19 dS/m, que el pH en promedio tiende a la neutralidad (6.8), que los iones en promedio no presentan valores por encima de los 1.3 meq/L, salvo los bicarbonatos, y que las RAS y PSI en promedio no son mayores a 0.7.

Tabla 19: Descripción general de la salinidad superficial en el municipio de Buga.

Buga	C.E (dS/m)	pH	Iones (meq/L)								RAS	PSI
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻		
Promedio	0.19	6.8	0.8	0.7	0.4	0.6	1.3	0.5	0.0	3.0	0.7	0.7
Desviación	0.09	0.5	0.3	0.3	0.8	0.3	0.7	0.2	0.0	1.2	0.3	0.3
Moda	0.20	6.9	-	-	0.1	-	1.1	0.5	0.0	-	-	-
Max	0.40	7.3	1.3	1.3	2.6	1.2	3.1	1.0	0.0	5.4	1.1	1.1
Min	0.10	6.0	0.3	0.2	0.0	0.4	0.5	0.2	0.0	1.5	0.4	0.4
Varianza	0.01	0.2	0.1	0.1	0.6	0.1	0.5	0.1	0.0	1.4	0.1	0.1

Es decir, se muestra claramente que el problema de salinidad (representado fundamentalmente por la C.E), no es un problema generalizado en el municipio y que aquellos valores que se muestran como máximos cercanos a 0.4 dS/m, no representan problemas localizados.

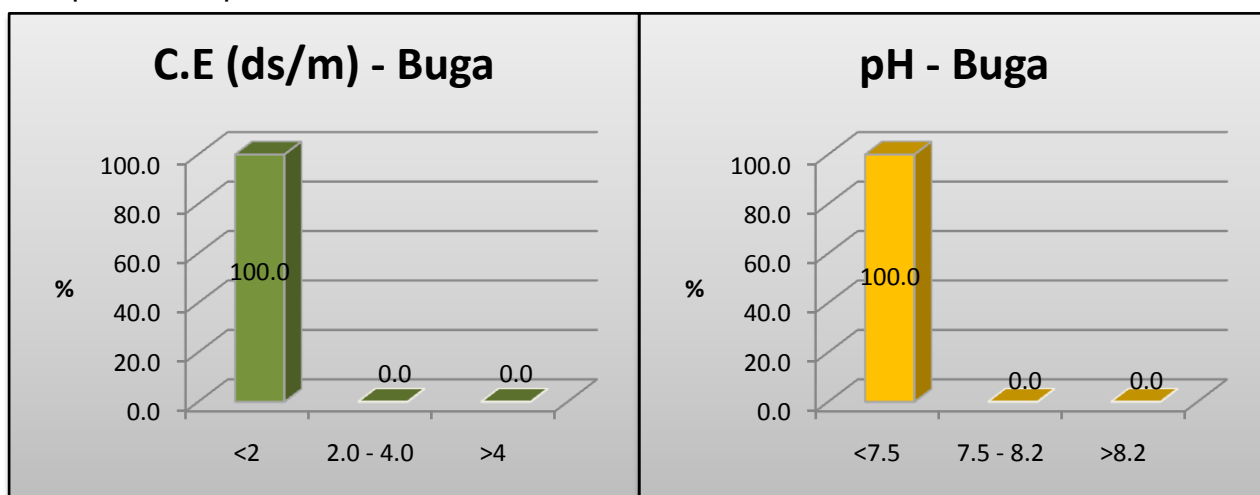


Figura 34: Descripción en el municipio de Buga de la conductividad eléctrica y el pH en superficie.

La tabla y la figura 34 también muestran que en general en el municipio no predomina ningún tipo de problema relacionado con salinidad o sodicidad y que tampoco la presencia de algún ión representa un riesgo potencial para los suelos. En esta se muestra que en el 100% de los suelos la C.E nunca sobrepaso los 2 dS/m y que en el pH el 100% es menor a 7.5.

Adicionalmente, la figura 35 muestra mucho más específicamente que los suelos del municipio no poseen problemas de sodicidad, es decir que indicadores como la R.A.S. (100%) y el P.S.I. (100%) no sobrepasaron los valores críticos (3 y 7 respectivamente); sin embargo se puede observar en la misma figura, que existe un 20% de los suelos que tiene un riesgo considerable con RAS entre 1 y 3, y 20 de PSI cercanos a 7.

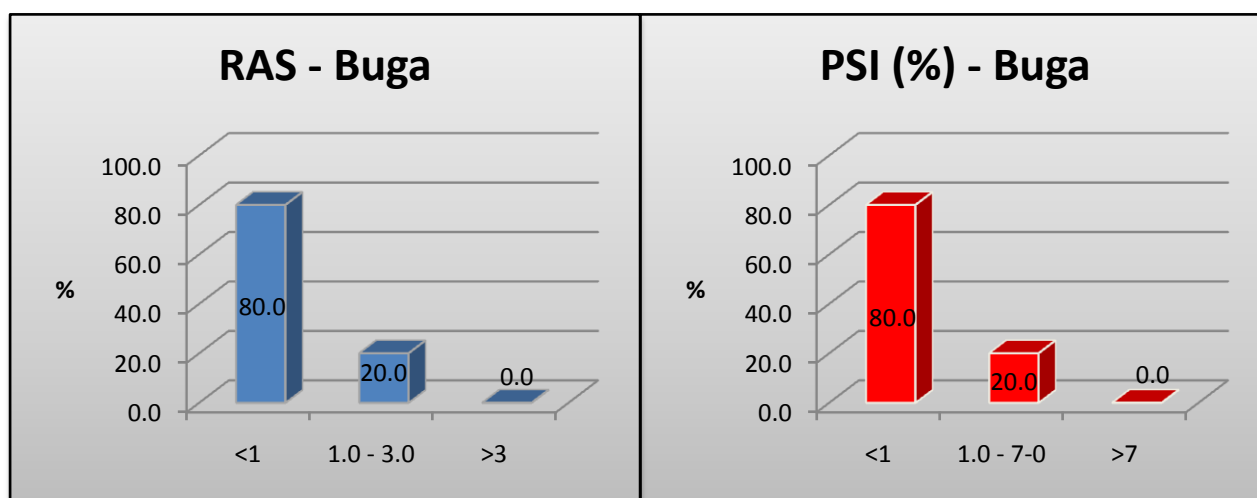


Figura 35: Descripción en el municipio de Buga de la R.A.S. y el P.S.I. en superficie.

En este municipio los registros muestran que al igual que en Zarzal el clima no es muy agresivo y que solo en 5 meses del año se presenta déficit de humedad. Ahora se observa una relación directa entre el contenido de sales en los suelos y las características de las aguas de riego.

Entonces, en el municipio de Buga solo se presenta un problema localizado en los suelos, acompañados de aguas de riego con niveles medios de bicarbonatos:

- En la hacienda Santa Mónica del Ingenio Manuelita, los suelos presentaron niveles medios de bicarbonatos.

Profundidad

En la tabla 20 se muestran las características de las muestras recolectadas en profundidad; en esta se observa que los suelos del municipio de Buga en promedio en todas las profundidades, muestran conductividades eléctricas que no sobrepasan los 0.24 dS/m, que el pH tiende a la neutralidad (6.4 – 6.8), que los iones en promedio no presentan valores por encima de los 1.6 meq/L y que las RAS y PSI en promedio no son mayores a 1.3 y no tiende a incrementarse con la profundidad.

Tabla 20: Descripción de la salinidad en profundidad en el municipio de Buga.

Buga	Prof. (cm)	C.E (dS/m)	pH	Iones (meq/L)								RAS	PSI
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻		
Promedio	0-20	0.19	6.8	0.8	0.7	0.4	0.6	1.3	0.5	0.0	3.0	0.7	0.7
Desviación		0.09	0.5	0.3	0.3	0.8	0.3	0.7	0.2	0.0	1.2	0.3	0.3
Moda		0.20	6.9	-	-	0.1	-	1.1	0.5	0.0	-	-	-
Max		0.40	7.3	1.3	1.3	2.6	1.2	3.1	1.0	0.0	5.4	1.1	1.1
Min		0.10	6.0	0.3	0.2	0.0	0.4	0.5	0.2	0.0	1.5	0.4	0.4
Varianza		0.01	0.2	0.1	0.1	0.6	0.1	0.5	0.1	0.0	1.4	0.1	0.1
Promedio	20-40	0.23	6.7	0.6	0.6	0.1	0.7	1.1	0.4	0.0	2.6	1.0	1.0
Desviación		0.21	0.6	0.5	0.5	0.1	0.3	0.3	0.1	0.0	1.9	0.4	0.4
Moda		0.10	7.3	-	0.1	0.0	-	0.7	0.4	0.0	3.8	-	-
Max		0.80	7.3	1.4	1.4	0.4	1.3	1.8	0.6	0.0	4.9	2.0	2.0
Min		0.10	5.7	0.1	0.1	0.0	0.3	0.7	0.3	0.0	0.3	0.6	0.6
Varianza		0.04	0.4	0.2	0.3	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	3.8	0.2	0.2
Promedio	40-60	0.24	6.6	0.4	0.5	0.1	0.6	1.1	0.5	0.0	2.0	1.1	1.1
Desviación		0.28	0.8	0.3	0.4	0.1	0.3	0.3	0.3	0.0	1.3	0.5	0.5
Moda		0.10	7.1	-	-	0.0	-	1.3	0.4	0.0	-	-	-
Max		1.00	7.3	0.9	1.3	0.3	1.1	1.6	1.2	0.0	4.0	2.0	1.9
Min		0.10	4.6	0.0	0.1	0.0	0.3	0.5	0.2	0.0	0.7	0.6	0.6
Varianza		0.08	0.7	0.1	0.2	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	1.7	0.2	0.2
Promedio	60-80	0.16	6.4	0.3	0.4	0.7	0.7	1.6	0.5	0.0	1.7	1.3	1.2
Desviación		0.12	1.0	0.2	0.2	1.6	0.4	1.4	0.3	0.0	1.0	0.5	0.4
Moda		0.10	6.9	0.1	-	0.0	-	0.7	0.4	0.0	0.6	-	-
Max		0.40	7.2	0.5	0.8	5.1	1.3	5.4	1.1	0.0	3.4	2.0	2.0
Min		0.00	4.4	0.1	0.1	0.0	0.3	0.7	0.2	0.0	0.5	0.7	0.7
Varianza		0.01	1.0	0.0	0.1	2.6	0.1	1.9	0.1	0.0	0.9	0.2	0.2

Esta tabla muestra claramente que el comportamiento de todas las características en profundidad es relativamente similar al presentado en superficie y que la salinidad (representada por la C.E.) no es un problema generalizado en los suelos del municipio de Buga ni en profundidad ni en superficie y que aquellos valores que se muestran como máximos cercanos a 0.24 dS/m, no representan ningún problema localizado en cuanto a salinidad.

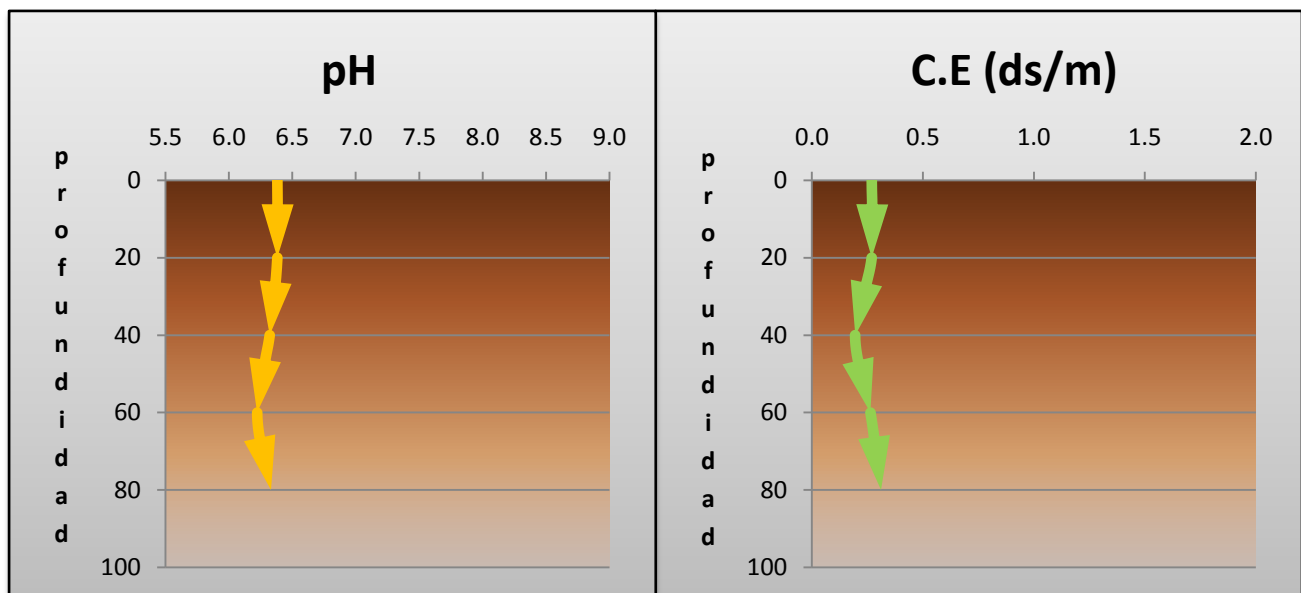


Figura 36: Descripción en profundidad de la C.E y el pH, en el municipio de Buga.

La tabla y la figura 36 también muestran que en promedio en Buga no predomina ningún tipo de problema relacionado con salinidad o posible predominancia de bicarbonatos, es más se observa que conforme se avanza en profundidad el pH tiende a disminuir y la C.E tiende a aumentar levemente.

Adicionalmente la figura 37 muestra que los suelos en promedio en profundidad no presentan problemas de sodicidad; porque la RAS y el PSI presentan una tendencia a incrementar sus valores levemente.

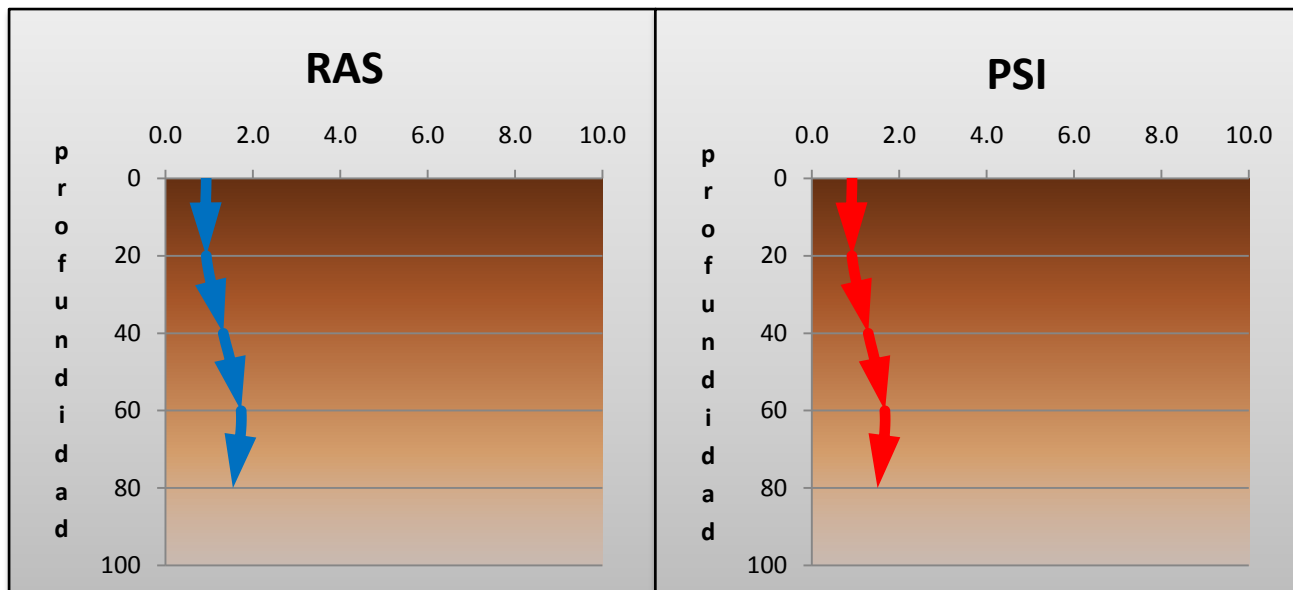


Figura 37: Descripción en profundidad de la RAS y el PSI, en el municipio de Buga.

Entonces, en profundidad se pudo observar que el problema no es generalizado y que los dos factores principales para la afectación de suelos por sales (Aguas y clima), no están relacionados directamente con lo observado en el suelo. Lo que muestra este hecho es que en Buga el factor agua de riego en general no genera un impacto directo en los suelos, sin embargo en la hacienda Santa Mónica si se observa este problema en superficie y en profundidad.

Entonces, en el municipio de Buga solo se encuentra un problema localizado:

- La hacienda Santa Mónica del ingenio Manuelita y las haciendas Andalucía y el Guayabito del ingenio Providencia, presentan niveles medios de bicarbonatos de 20 a 40 y de 40 a 60 cm.
- Además, en haciendas como Santa Ana de Providencia y La Esperanza de Pichichi, los suelos presentan RAS por encima de 3 y presencia de bicarbonatos, adicionalmente se debe tener cuidado con el manejo del agua de riego ya que presentan valores medios de bicarbonatos, es decir los suelos están adoptando las características de las aguas de riego lo cual puede estar pasando en otros suelos de la zona.

7.2.6 Guacarí

Superficial

En la tabla 21 se muestran las características que describen el grado de salinidad y sodicidad superficial en los extractos saturados de las muestras del municipio de Guacarí; en esta se puede observar que los suelos en promedio muestran conductividades eléctricas que no sobrepasan los 0.23 dS/m, que el pH en promedio tiende a la neutralidad (7.3), que los iones en promedio no presentan valores por encima de los 1.4 meq/L, salvo los bicarbonatos, y que las RAS y PSI en promedio no son mayores a 0.6.

Tabla 21: Descripción general de la salinidad superficial en el municipio de Guacarí.

Guacarí	C.E (dS/m)	pH	Iones (meq/L)								RAS	PSI
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻		
Promedio	0.23	7.3	1.3	1.0	0.1	0.7	1.4	0.5	0.0	4.3	0.6	0.6
Desviación	0.09	0.4	0.5	0.5	0.1	0.6	0.3	0.2	0.0	2.3	0.5	0.4
Moda	0.20	7.6	1.6	0.6	0.1	-	1.1	-	0.0	-	-	-
Max	0.40	7.7	1.9	1.8	0.2	2.4	2.1	0.9	0.0	9.1	1.7	1.7
Min	0.10	6.5	0.5	0.3	0.0	0.3	1.1	0.3	0.0	1.2	0.3	0.3
Varianza	0.01	0.2	0.2	0.2	0.0	0.4	0.1	0.0	0.0	5.2	0.2	0.2

Es decir, se muestra claramente que el problema de salinidad (representado fundamentalmente por la C.E), no es un problema generalizado en el municipio y que aquellos valores que se muestran como máximos cercanos a 0.4 dS/m, no representan problemas localizados.

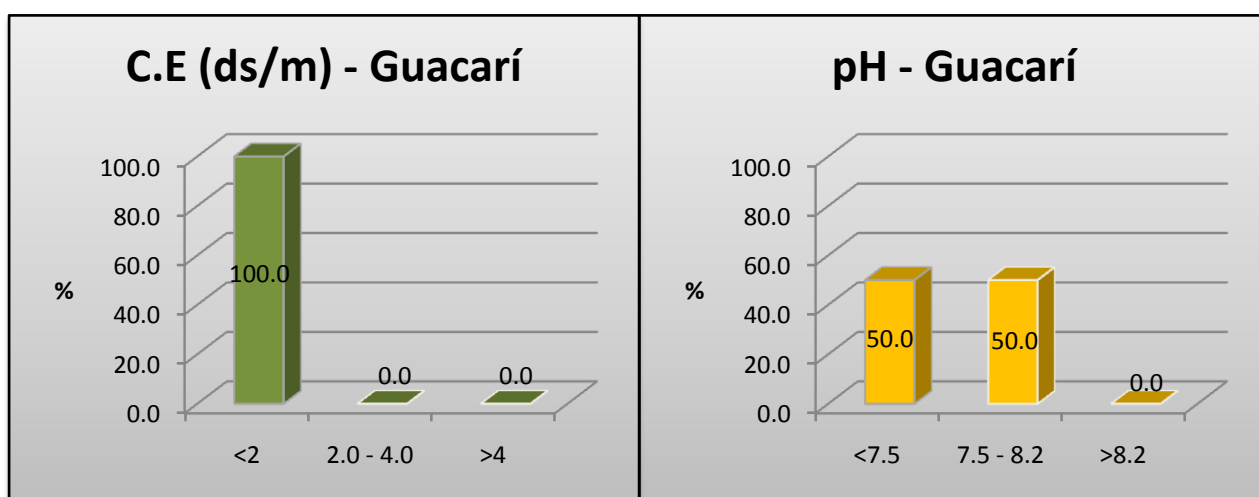


Figura 38: Descripción en el municipio de Guacarí de la conductividad eléctrica y el pH en superficie.

La tabla y la figura 38 también muestran que en general en el municipio no predomina ningún tipo de problema relacionado con salinidad, pero que la presencia de ión como bicarbonato puede presentar un riesgo potencial para los suelos en cuanto a sodicidad. En esta se muestra que en el 100% de los suelos la C.E nunca sobrepasó los 2 dS/m y que en el pH solo en un 50% es menor a 7.5 y que el otro 50% se encuentra entre 7.5 y 8.

Adicionalmente, la figura 39 muestra mucho más específicamente que los suelos del municipio no poseen problemas de sodicidad, es decir que indicadores como la R.A.S. (100%) y el P.S.I. (100%) no sobrepasaron los valores críticos (3 y 7 respectivamente); sin embargo se puede observar en la misma figura, que existe un 20% de los suelos que tiene un riesgo considerable con RAS entre 1 y 3, y 20 de PSI cercanos a 7.

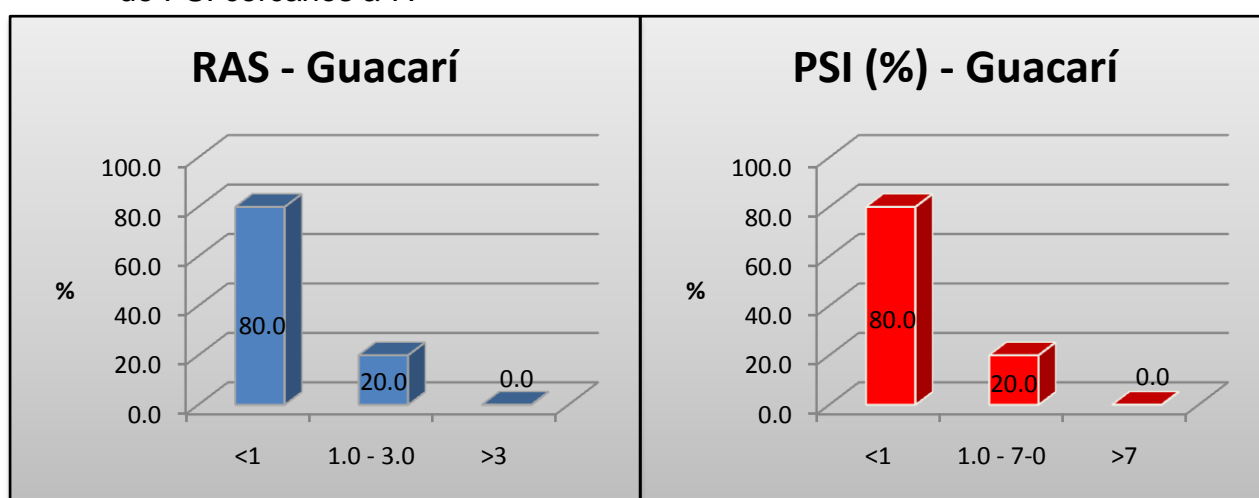


Figura 39: Descripción en el municipio de Guacarí de la R.A.S. y el P.S.I. en superficie.

En este municipio los registros muestran que se presenta el clima más agresivo de la zona evaluada con 8 meses del año en donde se presenta déficit de humedad. Ahora se observa una relación directa entre el contenido de sales en los suelos y las características de las aguas de riego.

Entonces, en el municipio de Guacarí se presentan algunos problemas localizados en los suelos, acompañados de aguas de riego con niveles medios a altos de bicarbonatos:

- En la hacienda Palo Alto del Ingenio Providencia, los suelos presentaron niveles altos de bicarbonatos, al igual que sus aguas de riego.
- También en haciendas como: Albania y Tesorito de Manuelita, La Julia 2 de Providencia y La Estancia de Pichichí se presentan valores medios de bicarbonatos.

Profundidad

En la tabla 22 se muestran las características de las muestras recolectadas en profundidad; en esta se observa que los suelos del municipio de Guacarí en promedio en todas las profundidades, muestran conductividades eléctricas que no sobrepasan los 0.23 dS/m, que el pH tiende a la neutralidad (7 – 7.3), que los iones en promedio no presentan valores por encima de los 4.3 meq/L y que las RAS y PSI en promedio no son mayores a 0.9.

Tabla 22: Descripción de la salinidad en profundidad en el municipio de Guacarí.

Guacarí	Prof. (cm)	C.E (dS/m)	pH	Iones (meq/L)								RAS	PSI
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻		
Promedio	0-20	0.23	7.3	1.3	1.0	0.1	0.7	1.4	0.5	0.0	4.3	0.6	0.6
Desviación		0.09	0.4	0.5	0.5	0.1	0.6	0.3	0.2	0.0	2.3	0.5	0.4
Moda		0.20	7.6	1.6	0.6	0.1	-	1.1	-	0.0	-	-	-
Max		0.40	7.7	1.9	1.8	0.2	2.4	2.1	0.9	0.0	9.1	1.7	1.7
Min		0.10	6.5	0.5	0.3	0.0	0.3	1.1	0.3	0.0	1.2	0.3	0.3
Varianza		0.01	0.2	0.2	0.2	0.0	0.4	0.1	0.0	0.0	5.2	0.2	0.2
Promedio	20-40	0.21	7.1	0.9	0.7	0.1	0.6	1.3	0.5	0.0	3.1	0.7	0.7
Desviación		0.13	0.5	0.3	0.3	0.1	0.3	0.3	0.4	0.0	1.3	0.3	0.3
Moda		0.10	7.3	1.3	-	0.0	-	1.2	0.3	0.0	-	-	-
Max		0.50	8.1	1.4	1.2	0.4	1.4	1.8	1.5	0.0	5.9	1.2	1.2
Min		0.10	6.6	0.3	0.2	0.0	0.3	0.7	0.1	0.0	1.5	0.4	0.4
Varianza		0.02	0.2	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	0.0	1.8	0.1	0.1
Promedio	40-60	0.19	7.0	0.6	0.4	0.1	0.5	1.2	0.4	0.0	2.3	0.8	0.8
Desviación		0.10	0.4	0.3	0.2	0.0	0.3	0.2	0.3	0.0	1.3	0.5	0.5
Moda		0.20	7.2	0.4	-	0.1	0.4	1.1	-	0.0	-	-	-
Max		0.30	7.4	0.9	0.6	0.2	1.4	1.4	1.0	0.0	3.8	2.0	2.0
Min		0.00	6.1	0.1	0.1	0.0	0.2	0.9	0.1	0.0	0.6	0.4	0.3
Varianza		0.01	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	1.6	0.3	0.2
Promedio	60-80	0.22	7.1	0.6	0.5	0.1	0.6	1.2	0.3	0.0	2.4	0.9	0.9
Desviación		0.13	0.4	0.3	0.2	0.1	0.4	0.2	0.3	0.0	1.3	0.6	0.6
Moda		0.10	7.4	-	-	0.0	-	1.4	0.1	0.0	1.4	-	-
Max		0.50	7.8	1.1	0.7	0.4	1.7	1.5	1.1	0.0	4.1	2.4	2.4
Min		0.10	6.4	0.2	0.1	0.0	0.2	0.9	0.1	0.0	0.5	0.4	0.4
Varianza		0.02	0.2	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1	0.0	1.6	0.3	0.3

Esta tabla muestra claramente que el comportamiento de todas las características en profundidad es relativamente similar al presentado en superficie y que la salinidad (representada por la C.E.) no es un problema generalizado en los suelos del municipio de Guacarí ni en profundidad ni en superficie y que aquellos valores que se muestran como máximos cercanos a 0.23 dS/m, no representan ningún problema localizado en cuanto a salinidad.

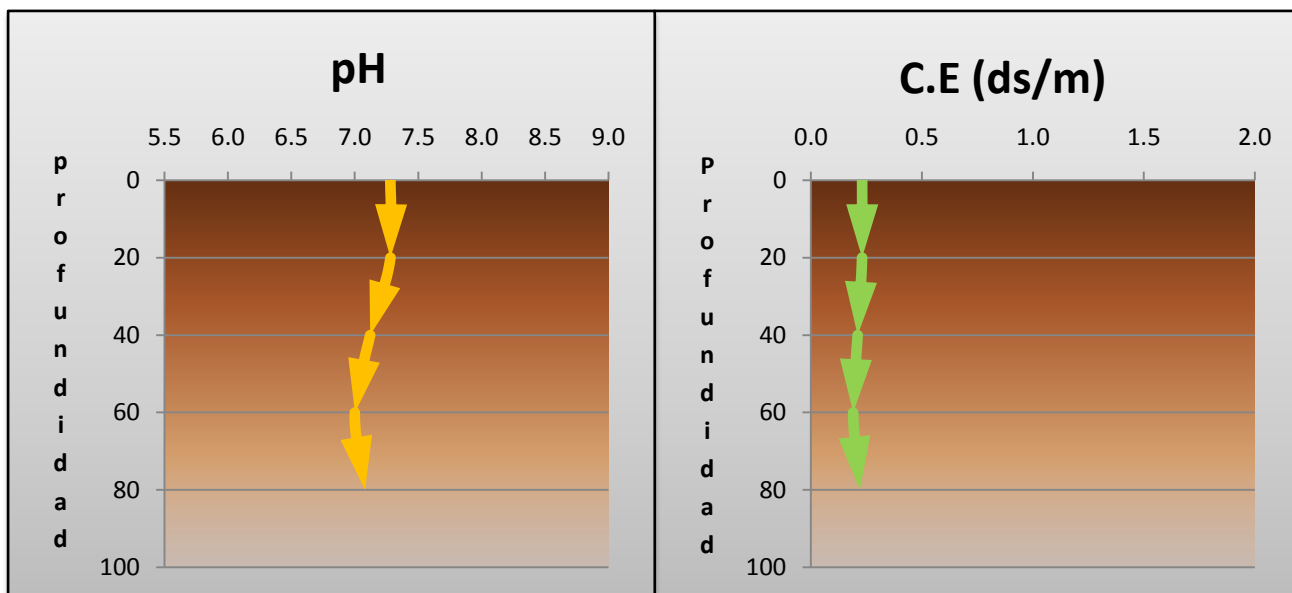


Figura 40: Descripción en profundidad de la C.E y el pH, en el municipio de Guacarí.

La tabla y la figura 40 también muestran que en promedio en Guacarí no predomina ningún tipo de problema relacionado con salinidad o posible predominancia de bicarbonatos, es más se observa que conforme se avanza en profundidad el pH tiende a disminuir y la C.E permanece constante.

Adicionalmente la figura 41 muestra que los suelos en promedio en profundidad no presentan problemas de sodicidad; debido a que la RAS y el PSI presentan valores similares en todas las profundidades.

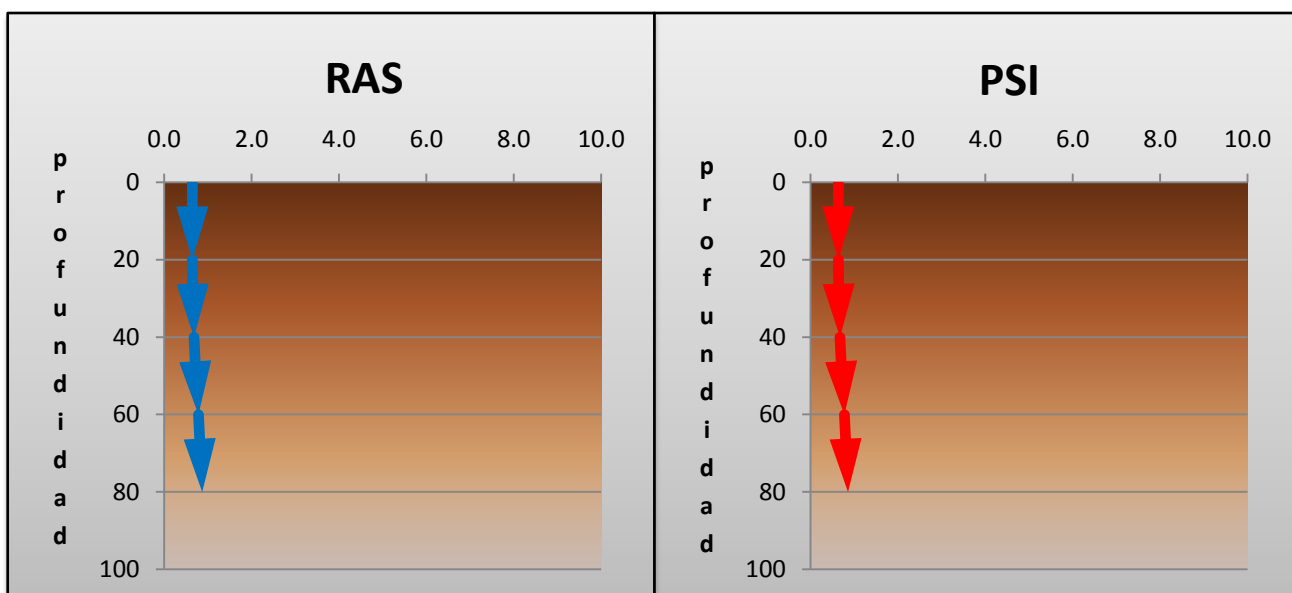


Figura 41: Descripción en profundidad de la RAS y el PSI, en el municipio de Guacarí.

Entonces, en profundidad se pudo observar que el problema no es generalizado y que los dos factores principales para la afectación de suelos por sales (Aguas y clima), no están relacionados directamente con lo observado en el suelo. Lo que muestra este hecho es que en Guacarí el factor agua de riego en general no genera un impacto directo en los suelos, sin embargo en la hacienda Palo Alto afecta en menor medida en superficie y en profundidades entre 20 y 40 cm.

Entonces, en el municipio de Guacarí solo se encuentran dos problemas localizados de menor grado:

- La hacienda Palo alto del ingenio Providencia y la hacienda Albania del ingenio Manuelita, presentan niveles medios de bicarbonatos de 20 a 40 y de 60 a 80 cm. respectivamente.
- Sin embargo, en haciendas como La Estancia, San Rafael y Chambery Guabas de Pichichi, aunque los suelos no presenten algún problema, se debe tener cuidado con el manejo del agua de riego ya que presentan valores medios de bicarbonatos.

7.2.7 El Cerrito

Superficial

En la tabla 23 se muestran las características que describen el grado de salinidad y sodicidad superficial en los extractos saturados de las muestras del municipio de El Cerrito; en esta se puede observar que los suelos en promedio muestran conductividades eléctricas que no sobrepasan los 0.18 dS/m, que el pH en promedio tiende a la neutralidad (7), que los iones en promedio no presentan valores por encima de los 3.4 meq/L, y que las RAS y PSI en promedio no son mayores a 0.9.

Tabla 23: Descripción general de la salinidad superficial en el municipio de El Cerrito.

El Cerrito	C.E (dS/m)	pH	Iones (meq/L)								RAS	PSI
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻		
Promedio	0.18	7.0	1.1	0.9	0.2	0.9	1.3	0.8	0.0	3.4	0.9	0.9
Desviación	0.08	0.4	0.6	0.6	0.2	0.7	0.4	0.5	0.0	2.3	0.8	0.8
Moda	0.20	7.5	0.8	1.0	0.1	-	1.0	0.5	0.0	-	-	-
Max	0.40	7.5	2.9	2.7	1.0	2.6	2.3	2.6	0.0	8.3	3.4	3.3
Min	0.10	6.4	0.4	0.3	0.1	0.3	1.0	0.3	0.0	0.4	0.3	0.3
Varianza	0.01	0.1	0.4	0.3	0.1	0.5	0.1	0.3	0.0	5.4	0.7	0.6

Es decir, se muestra claramente que el problema de salinidad (representado fundamentalmente por la C.E), no es un problema generalizado en el municipio y que aquellos valores que se muestran como máximos cercanos a 0.4 dS/m, no representan problemas localizados.

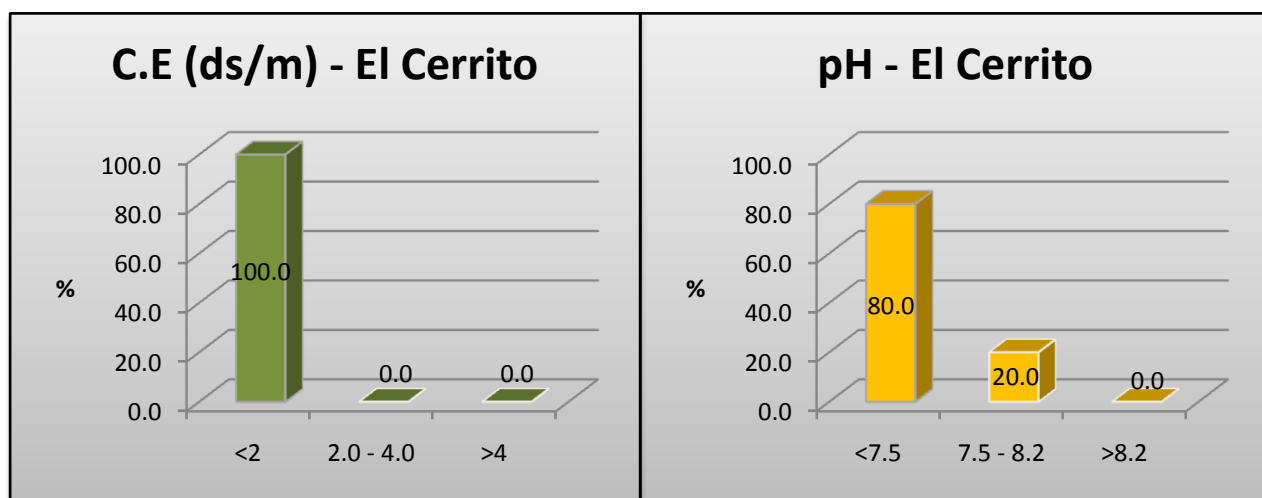


Figura 42: Descripción en el municipio de El Cerrito de la conductividad eléctrica y el pH en superficie.

La tabla y la figura 42 también muestran que en general en el municipio no predomina ningún tipo de problema relacionado con salinidad o presencia de algún ion nocivo como bicarbonato. En esta se muestra que en el 100% de los suelos la C.E nunca sobrepaso los 2 dS/m y que en el pH el 80% es menor a 7.5 y el otro 20% se encuentra entre 7.5 y 8.

Adicionalmente, la figura 43 muestra mucho más específicamente que los suelos del municipio no poseen problemas de sodicidad, es decir que indicadores como la R.A.S. (90%) y el P.S.I. (100%) no sobrepasaron los valores críticos (3 y 7 respectivamente); sin embargo se puede observar en la misma figura, que existe un 10% de los suelos que tiene un riesgo considerable con RAS superiores a 3.

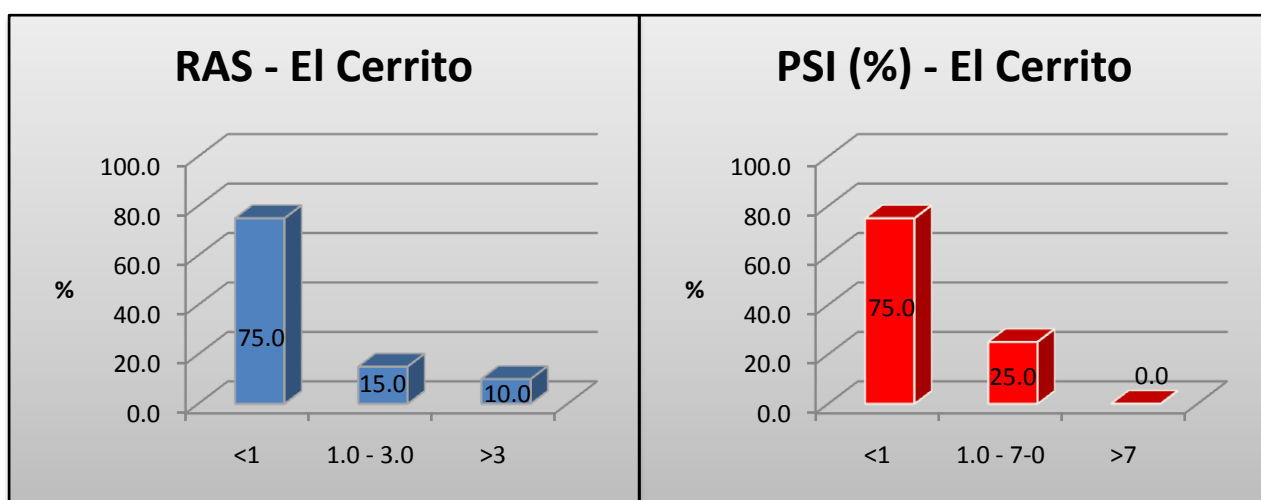


Figura 43: Descripción en el municipio de El cerrito de la R.A.S. y el P.S.I. en superficie.

En este municipio los registros muestran que se presenta un clima medianamente agresivo con 6 meses del año en donde se presenta déficit de humedad. Ahora se observa una relación directa entre el contenido de sales en los suelos y las características de las aguas de riego en casi todas las haciendas afectadas, pero no en todas.

Entonces, en el municipio de El Cerrito se presentan algunos problemas localizados en los suelos, acompañados de aguas de riego con niveles medios a altos de bicarbonatos, por ejemplo:

- En las haciendas San Miguel del Ingenio Pichichí, San Carlos del ingenio Providencia y Canelo 1 de Manuelita, los suelos presentaron niveles altos de bicarbonatos (RAS por encima de 3), al igual que sus aguas de riego.

- También en haciendas como: Casablanca de Manuelita, La tribuna de Providencia y Genova de Pichichí, se presentaron valores medios de bicarbonatos.
- Sin embargo en haciendas como: San Fernando de Pichichí, La Ínsula, San Fernando y Marsella de Providencia, y en Milán de Manuelita, las aguas de riego tienen gran potencial de aportarle principalmente bicarbonatos a los suelos y en algunos casos cloruros.

Profundidad

En la tabla 24 se muestran las características de las muestras recolectadas en profundidad; en esta se observa que los suelos del municipio de El Cerrito en promedio en todas las profundidades, muestran conductividades eléctricas que no sobrepasan los 0.20 dS/m, que el pH tiende a la neutralidad (6.8 – 7), que los iones en promedio no presentan valores por encima de los 3.4 meq/L y que las RAS y PSI en promedio no son superiores a 1.6.

Tabla 24: Descripción de la salinidad en profundidad en el municipio de El Cerrito.

El Cerrito	Prof. (cm)	C.E (dS/m)	pH	Iones (meq/L)								RAS	PSI
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻		
Promedio	0-20	0.18	7.0	1.1	0.9	0.2	0.9	1.3	0.8	0.0	3.4	0.9	0.9
Desviación		0.08	0.4	0.6	0.6	0.2	0.7	0.4	0.5	0.0	2.3	0.8	0.8
Moda		0.20	7.5	0.8	1.0	0.1	-	1.0	0.5	0.0	-	-	-
Max		0.40	7.5	2.9	2.7	1.0	2.6	2.3	2.6	0.0	8.3	3.4	3.3
Min		0.10	6.4	0.4	0.3	0.1	0.3	1.0	0.3	0.0	0.4	0.3	0.3
Varianza		0.01	0.1	0.4	0.3	0.1	0.5	0.1	0.3	0.0	5.4	0.7	0.6
Promedio	20-40	0.20	6.8	0.7	0.6	0.3	1.1	1.4	0.8	0.0	2.5	1.5	1.4
Desviación		0.11	0.5	0.5	0.5	0.7	1.1	0.7	0.6	0.0	2.0	1.4	1.3
Moda		0.10	6.6	0.2	-	0.1	0.5	1.2	0.5	0.0	0.7	-	-
Max		0.50	7.8	2.0	1.8	2.9	4.2	4.0	2.8	0.0	6.6	5.5	5.2
Min		0.10	5.9	0.2	0.1	0.0	0.3	0.9	0.2	0.0	0.2	0.5	0.5
Varianza		0.01	0.3	0.2	0.2	0.4	1.1	0.4	0.4	0.0	4.0	2.0	1.8
Promedio	40-60	0.19	6.9	0.5	0.5	0.3	1.1	1.3	0.8	0.0	2.4	1.6	1.5
Desviación		0.12	0.5	0.3	0.2	0.8	1.0	0.9	0.5	0.0	1.8	1.6	1.5
Moda		0.10	7.2	0.4	0.8	0.1	0.9	1.2	0.6	0.0	0.9	-	-
Max		0.50	7.8	1.2	1.0	3.5	3.9	5.0	2.4	0.0	5.7	7.2	6.7
Min		0.10	5.8	0.2	0.1	0.0	0.3	0.7	0.3	0.0	0.3	0.4	0.4
Varianza		0.01	0.2	0.1	0.1	0.6	1.0	0.8	0.2	0.0	3.1	2.5	2.2
Promedio	60-80	0.16	6.8	0.5	0.5	0.2	1.0	1.2	0.7	0.0	2.1	1.6	1.6
Desviación		0.14	0.6	0.2	0.3	0.4	0.8	0.4	0.5	0.0	1.5	1.6	1.5
Moda		0.10	7.2	0.3	0.3	0.1	-	1.0	0.5	0.0	2.0	-	-
Max		0.70	7.5	0.9	1.4	2.0	3.2	2.8	1.9	0.0	4.7	7.5	7.0
Min		0.10	4.9	0.1	0.2	0.0	0.3	0.8	0.3	0.0	0.2	0.5	0.5
Varianza		0.02	0.4	0.0	0.1	0.2	0.7	0.2	0.2	0.0	2.1	2.7	2.3

Esta tabla muestra claramente que el comportamiento de todas las características en profundidad es relativamente similar al presentado en superficie y que la salinidad (representada por la C.E.) no es un problema generalizado en los suelos del municipio de El Cerrito ni en profundidad ni en superficie y que aquellos valores que se muestran como máximos cercanos a 0.20 dS/m, no representan ningún problema localizado en cuanto a salinidad.

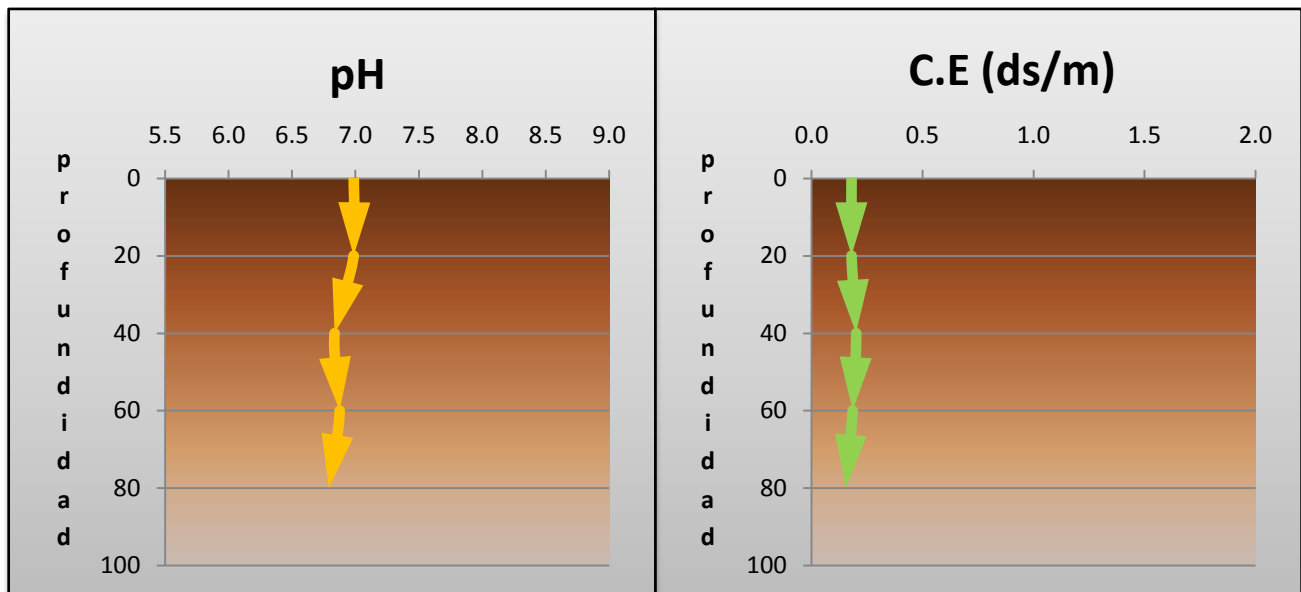


Figura 44: Descripción en profundidad de la C.E y el pH, en el municipio de El Cerrito.

La tabla y la figura 44 también muestran que en promedio en El Cerrito no predomina ningún tipo de problema relacionado con salinidad o posible predominancia de bicarbonatos, es más se observa que conforme se avanza en profundidad el pH tiende a disminuir levemente y la C.E permanece constante.

Adicionalmente la figura 45 muestra que los suelos en promedio en profundidad no presentan problemas de sodicidad; debido a que la RAS y el PSI presentan valores similares en todas las profundidades, llegando a valores cercanos a los 1.6.

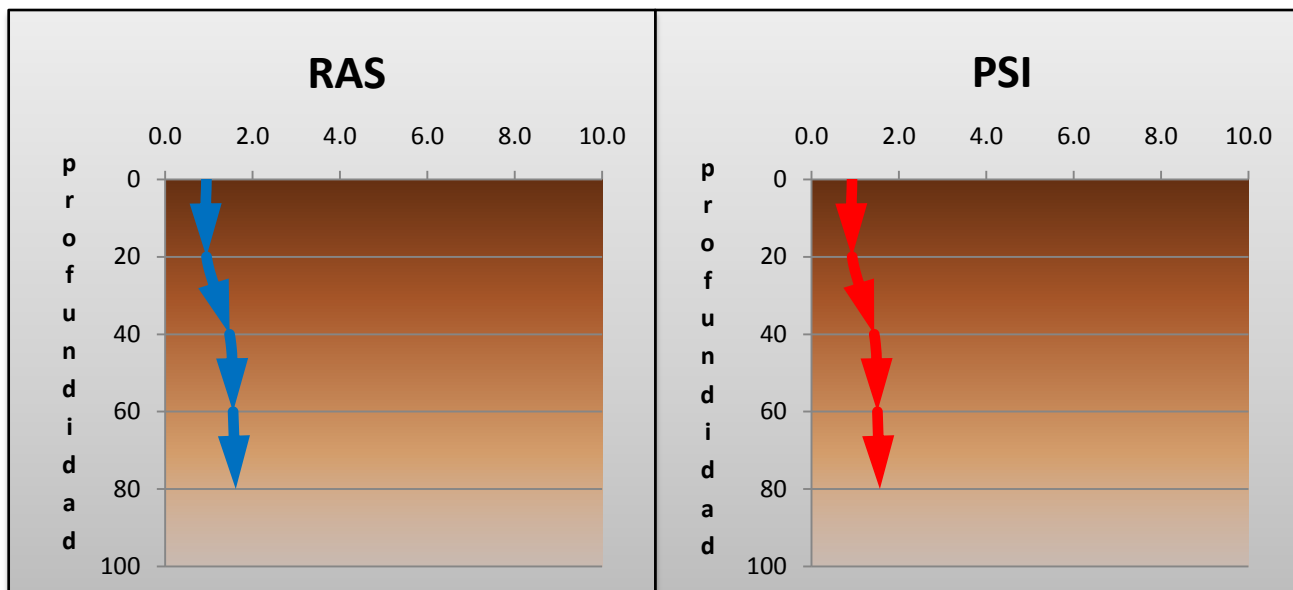


Figura 45: Descripción en profundidad de la RAS y el PSI, en el municipio de El Cerrito.

Entonces, en profundidad se pudo observar que el problema no es generalizado y que los dos factores principales para la afectación de suelos por sales (Aguas y clima), no están relacionados directamente con lo observado en el suelo. Lo que muestra este hecho es que en El Cerrito el factor agua de riego en general no genera un impacto directo en los suelos, sin embargo en las haciendas San Miguel y Canelo 1 si se observó.

Entonces, en el municipio de Guacarí solo se encuentran dos problemas localizados de menor grado:

- RAS por encima de 3 en San Miguel Pichichí y Canelo 1 de Manuelita, además de niveles medio de bicarbonatos. De 20 a 40 cm., 40 a 60 cm., San Miguel lo mantiene hasta 60 a 80 cm., pero Canelo 1 no.
- Sin embargo, en haciendas como La Estancia, San Rafael y Chambery Guabas de Pichichi, aunque los suelos no presenten problemas en profundidad, se debe tener cuidado con el manejo del agua de riego ya que presentan valores medios de bicarbonatos.

7.3 DIAGNOSTICO DE LA SALINIDAD MODELADA CON SALSODIMAR Y COMPARACIÓN CON LA SALINIDAD REAL

Para la comparación de la modelación con los valores reales registrados en la zona de estudio se tuvo en cuenta la salinidad máxima que se presentó en todo el perfil (0-80 cm.) y se establece que tanto estuvo acorde lo simulado con lo real, tanto a nivel general como específico por municipio.

General de la zona

La tabla 25 muestra los resultados de la predicción del planteamiento teórico de PLA, además de la comparación y el porcentaje de acierto que tuvo con respecto a lo registrado en campo. El planteamiento predijo de manera general que la zona presentaba lo siguiente: suelos con C.E. por debajo de 2 dS/m en el 100 % de la zona.

Tabla 25: Comparación entre el modelo y el resultado real de la zona

General	Modelo Vs Real			
	C.E (dS/m)		Calificación	% Acierto
	Valor	%		
Modelo	<2	95	No salino-No sódico	78
	<2	5	No salino-Lig. sódico ⁵	
Real	<2	83	No salino-No sódico	
	<2	17	No salino-Lig. sódico	

Entonces de acuerdo a los criterios de evaluación de PLA, del 100 % de los suelos bajo riego de la zona evaluada del Valle del Cauca, el 95% están en un bajo riesgo de desarrollar suelos salinos o muy salinos y no sódicos; el 5 % restante tiene un ligero riesgo de desarrollar sodicidad. Entonces esto muestra que en general la zona evaluada tiene un bajo riesgo de presentar salinidad ó sodicidad, esto representa una noticia positiva para los cultivos de la zona especialmente para la agroindustria azucarera que representa el mayor porcentaje de los cultivos asentados en los suelos evaluados, los cuales empiezan a presentar problemas de producción alrededor de los 2 dS/m.

⁵ RAS mayor a 3

Ahora al realizar la comparación con lo real, se observó que el modelo cuenta con un porcentaje de acierto del 78 % cuando se realiza de manera regional (general para la zona); en donde se pudo observar que el modelo tendió a estimar de manera adecuada los casos en donde no se presentó salinidad ni sodicidad, mientras tendió a subestimar los casos donde se presentó algún grado de sodicidad.

Ahora al realizar una observación detallada punto por punto, se pudo establecer que no precisamente las predicciones que hizo el modelo en los casos en donde se presentó algún grado de sodicidad fueron buenas, debido a que en esos casos lo real mostraba un comportamiento diferente, es más en gran parte de los casos en los cuales los datos reales mostraban algún grado de sodicidad el modelo presentó un comportamiento diferente. Sin embargo, en general se pudo observar y establecer que el modelo de PLA, realizó una buena detección del riesgo de salinidad en la zona de estudio.

Por municipio

La tabla 26 muestra los resultados de la predicción del planteamiento teórico de PLA y el porcentaje de acierto que tuvo con respecto a lo registrado en campo, pero esta vez detallada por cada uno de los municipios. El planteamiento predijo que todos los municipios de la zona presentan lo siguiente: suelos con C.E. por debajo de 2 dS/m en el 100 % de los municipios, pero con algunas diferencias en el porcentaje de acierto en algunos de ellos.

Tabla 26: Comparación entre el modelo y el resultado real por municipio

Municipio		Modelo Vs Real			
		C.E (dS/m)		Calificación	% Acierto
		Valor	%		
Zarzal	Modelo	<2	100	No salino-No sódico	80
		<2	0	No salino-Lig. sódico	
	Real	<2	80	No salino-No sódico	
		<2	20	No salino-Lig. sódico	
B/grande	Modelo	<2	90	No salino-No sódico	65
		<2	10	No salino-Lig. sódico	
	Real	<2	75	No salino-No sódico	
		<2	25	No salino-Lig. sódico	
Tuluá	Modelo	<2	100	No salino-No sódico	93
		<2	0	No salino-Lig. sódico	
	Real	<2	93	No salino-No sódico	
		<2	7	No salino-Lig. sódico	

San Pedro	Modelo	<2	87	No salino-No sódico	47
		<2	13	No salino-Lig. sódico	
	Real	<2	60	No salino-No sódico	
		<2	40	No salino-Lig. sódico	
Buga	Modelo	<2	100	No salino-No sódico	100
		<2	0	No salino-Lig. sódico	
	Real	<2	100	No salino-No sódico	
		<2	0	No salino-Lig. sódico	
Guacarí	Modelo	<2	90	No salino-No sódico	90
		<2	10	No salino-Lig. sódico	
	Real	<2	100	No salino-No sódico	
		<2	0	No salino-Lig. sódico	
El Cerrito	Modelo	<2	100	No salino-No sódico	85
		<2	0	No salino-Lig. sódico	
	Real	<2	85	No salino-No sódico	
		<2	15	No salino-Lig. sódico	

El riesgo de salinidad o sodicidad es muy bajo en todos los municipios de la zona evaluada, esto debido a que en general todos los municipios cuentan con: aguas de riego de moderada calidad (con tendencia hacia el incremento de bicarbonatos), los suelos no presentan grandes problemas de permeabilidad y cuentan en general con buen drenaje, aunque cuentan con un clima semiárido.

En zonas como Tuluá y Guacarí, en donde el clima es mucho más agresivo que en el resto de municipios (7 a 8 meses con déficit), el modelo mostró que en el 100% de los suelos de los dos municipios no existen riesgos de generar problemas de salinidad, aunque en Guacarí se tornó un poco hacia ligeramente sódico; esta tendencia en Guacarí se debe principalmente porque en una hacienda (Palo Alto del Ingenio Providencia por citar solo un ejemplo) el agua de riego cuenta con RAS por encima de 3, pH mayor a 8, esto muestra la gran importancia que tiene el agua de riego para el modelo. Sin embargo aunque el modelo predice que en esa hacienda puede existir un problema de sodicidad, el muestreo de campo mostró que ese problema no existe, aunque cuenta con un contenido considerable de bicarbonatos pero no de sodio el cual es muy bajo.

En otros municipio se observa un comportamiento contrario en donde el modelo no predice ningún problema de posible sodicidad y el muestreo de campo si lo muestra; el caso más notorio es el de San Pedro y Bugalagrande, en donde el modelo predice solo el 13% cuando en realidad es el 40 % como en San Pedro y 10% cuando es el 25% en Bugalagrande. Esto puede deberse a la variabilidad de los suelos o de los valores de entrada del modelo.

Ahora en cuanto al porcentaje de predicción que realizó el modelo por municipio, se pudo observar que en 5 de los 7 municipios el porcentaje de acierto estuvo por encima del 80%, solo en los municipios de Bugalagrande y San Pedro los porcentajes de acierto fueron bajos siendo de 65 y 47% respectivamente; En Tuluá, Buga y Guacarí el acierto estuvo más cercano o igual al 100%.

En general el modelo mostró un porcentaje considerablemente bueno de acierto cuando la modelación se realiza a gran escala y presentó algunos problemas cuando se realiza a nivel local, esto tal vez puede ser debido a que una de las tres características que utiliza el modelo es muy variable, debido principalmente a que las aguas en general son muy dinámicas y su calidad depende como en el caso del Valle del Cauca de muchas de las actividades que se realizan en las cuencas hidrográficas y en las ciudades por las cuales transitan esos cauces antes de ser utilizadas en las labores agrícolas.

8. PRECISIÓN DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA EN EL LABORATORIO

Este capítulo buscó mostrar la confiabilidad de los datos obtenidos en el laboratorio, realizando dos tipos de comparaciones, primero, se realizó la comparación entre suma de cationes y la suma de aniones; segundo, se realizó la comparación entre la conductividad eléctrica obtenida en laboratorio y la suma de cationes.

Tabla 27: Comparación de la Suma de Cationes Vs Suma de Aniones

Municipio	Análisis de Varianza			Cationes Vs Aniones (R ²)
	Cat.	Ani.	Pr > F	
General	3.8135 (a)	4.2150 (a)	0.3216	0.146 (0.640) ⁶
Zarzal	4.950 (a)	4.335 (a)	0.6937	0.755
Bugalagrande	4.2462 (a)	4.7400 (a)	0.4146	0.75
Tuluá	2.5633 (b)	3.0833 (a)	0.0034	0.71
San Pedro	7.615 (a)	3.715 (a)	0.0817	0.054
Buga	2.0150 (b)	4.0575 (a)	0.0001	0.75
Guacarí	2.1900 (b)	4.7350 (a)	0.0001	0.815
El Cerrito	2.6100 (b)	4.6725 (a)	0.0001	0.812

La tabla 27 muestra el grado de correlación lineal entre la suma de cationes y aniones, además de mostrar el análisis de varianza que se realizó de manera general y por municipio.

Entonces, en esta se observa que en general el grado de correlación entre los datos es muy bajo (0.146), pero que si se eliminan los datos extremos que se presentaron en el municipio de San Pedro el coeficiente sube a 0.640; también se pudo observarse que el grado de correlación por municipio es bueno, ya que oscila entre 0.71 y 0.81, salvo el único municipio San Pedro que no cuenta con un buen grado de correlación (0.054; es decir este valor es el que está marcando la tendencia para que se presente ese valor tan bajo a nivel general (Hacienda Chambimbal, Ingenio Pichihí).

⁶ R² eliminando los valores extremos que se presentaban en el municipio de San Pedro

Por otro lado se observa que el análisis de varianza muestra que no existen diferencias significativas entre las dos variables a nivel general ($Pr > F = 0.3216$), también muestra que 4 de los 7 municipios muestran diferencias significativas, pero con diferencias muy pequeñas (Tuluá, Buga, Guacarí, El Cerrito)

Entonces de acuerdo a estas dos relaciones, se pudo observar que la suma de cationes y la suma de aniones cuenta con un grado de confiabilidad bueno, que solo algunos datos extremos (con diferencias de más de 20 meq en la hacienda Chambimbal) son los que generan algunos coeficientes muy bajos. Cabe resaltar que la regresión es una relación muy estricta que busca comparar entre pares de datos que se parezcan mucho, es decir la regresión muestra el grado de relación tan estrecho que existe entre los cationes y los aniones.

Tabla 28: Comparación de la C.E Vs Suma de Cationes

Municipio	Análisis de Varianza		
	C.E.	Cat.	Pr > F
General	0.20667 (b)	0.31745 (a)	0.0009
Zarzal	0.2595 (a)	0.4123 (a)	0.2047
Bugalagrande	0.27913 (a)	0.35363 (a)	0.1541
Tuluá	0.16550 (b)	0.21300 (a)	0.0009
San Pedro	0.1488 (b)	0.6342 (a)	0.0098
Buga	0.20500 (a)	0.16825 (a)	0.2738
Guacarí	0.21250 (a)	0.18225 (a)	0.1844
El Cerrito	0.18000 (a)	0.21688 (a)	0.0501

La tabla 28 muestra el análisis de varianza que se realizó de manera general y por municipio entre la C.E. y la suma de cationes.

La tabla muestra que existen diferencias significativas entre los datos a nivel general, pero que esas diferencias son muy pequeñas (0.20 y 0.31 en promedio para las dos variables), es decir los datos aunque presenten diferencias son confiables de manera general, además se observa que 5 de los 7 municipios no presentan diferencias significativas, es decir por municipio los datos son más confiables que a nivel general (solo los valores extremos de la hacienda Chambimbal del municipio de San Pedro y Chundular en Tuluá).

Entonces de acuerdo a estas dos relaciones, se pudo observar que la suma de cationes y la C.E cuenta con un grado de confiabilidad relativamente bueno, que aunque se presentan algunas disparidades esas diferencias no son de gravedad.

Adicionalmente se puede decir que en el Valle del Cauca los iones solubles no son suficientes para el diagnostico de la presencia de sales en los suelos (pero se sabe en donde puede existir el error, al no contabilizar nitratos por ejemplo), además debe tenerse en cuenta los iones intercambiables, debido a que en estos (de acuerdo a la metodología de utiliza acetato de amonio) se puede observar y contabilizar los iones que se encuentran precipitados (como los carbonatos), los cuales suelen estar presentes en estos suelos (pero no se cuantifican en los solubles), como consecuencia de utilizar aguas de riego con presencia de bicarbonatos. Entonces es importante recalcar que las metodologías deben ser complementarias en el diagnostico de suelos afectados por sales, pero cada una tiene su grado de error.

9. CONCLUSIONES

A pesar de que los suelos del Valle del Cauca específicamente los de las terrazas bajas tienen baja permeabilidad (drenaje limitado en algunos suelos no en todos), que el movimiento del agua a través del perfil en algunas zonas sea deficiente, del uso de aguas sin ningún tipo de control (químico y sanitario), de zonas con niveles freáticos superficiales (menores de 1 metro en algunas zonas), de un clima semiárido (con veranos muy fuertes como consecuencias de los efectos del evento climático del niño) y de materiales parentales con predominancia de bases; los suelos evaluados en el Valle del Cauca en general no presentan problemas críticos o graves de afectación por sales dado que un gran porcentaje de los suelos (90% de los evaluados) no presentan altos grados de salinidad o sodicidad, sin embargo se observa que no toda el área está libre del problema, que se encuentran problemas localizados (que se están extendiendo) muchos de ellos de gran cuidado, principalmente con el contenido de bicarbonatos, magnesio y sodio, lo cual preocupa ya que si no se realiza un seguimiento periódico de estos contenidos pueden llegar a incrementar el problema o a extenderlo a través de los iones que predominan en las aguas de riego (de cualquiera de las fuentes) utilizadas.

En general cuando se presentaron problemas localizados en superficie, esos problemas también se notaban en profundidad; dentro de esto se encontró que el municipio más afectado por estos problemas localizados fue San Pedro con aproximadamente 5 haciendas con problemas de bicarbonatos y RAS, seguido de Bugalagrande y Zarzal; por otro lado Buga se caracterizó por no presentar problemas de ningún tipo. Entonces esto muestra que un porcentaje de los suelos evaluados se ven afectados por C.E, RAS o contenidos de bicarbonatos altos y que este no es un problema generalizado, pero que debe tenerse mucho cuidado en suelos con contenidos y valores peligrosos de bicarbonatos más que altos de C.E.

Las aguas de riego usadas en la agricultura del Valle del Cauca no representan de manera general una fuente de riesgo para un posible problema de salinización severa de los suelos de la zona; sin embargo en algunos municipios como Zarzal y El Cerrito (principalmente, aunque en los otros municipios también existe riesgo), un porcentaje de las aguas de riego evaluadas cuentan con potencialidad para generar contaminación, principalmente por la presencia de bicarbonatos; entonces es importante que se adopten decisiones en las cuales la implementación de programas de muestreos y monitoreo periódicos de las aguas de riego, permitan dar precisión a las tendencias y alcances del posible problema. Además es imperativo que en el Valle del Cauca se realicen las labores de riego teniendo en cuenta fracciones de lavado específicas, debido a que en muchos suelos el principal factor para el incremento de algunas sales (por ejemplo bicarbonatos como anión predominante) es el agua con la cual se riega.

El modelo mostró un porcentaje considerablemente bueno de acierto cuando la modelación se realiza a gran escala (cerca del 80%) y presentó algunos problemas cuando se realiza a nivel local (solo en el 70% de los municipios evaluados), esto tal vez debido a que una de las tres características principales que utiliza el modelo es muy dinámica (Agua de riego). Adicionalmente se observó que en varias zonas en donde se presentaban las condiciones para la formación de suelos salinos o sódicos (según el modelo), actualmente no hay presencia marcada del problema.

En general se pudo observar que los modelos representan una buena herramienta para la evaluación de procesos de salinización o sodización de suelos dedicados a la agricultura de riego frecuente como la del Valle del Cauca. Esto muestra que modelos simples, fáciles de utilizar y que necesitan información de fácil adquisición son de gran utilidad para evaluar procesos de contaminación en el departamento, en donde la falta de información técnica en ocasiones no permite utilizar modelos de mayor complejidad.

BIBLIOGRAFÍA

BROWN, T. I. (2009). *QUIMICA La ciencia central, Decimoprimer edición*. México: PEARSON EDUCACIÓN.

CARBONELL, J., AMAYA, A., ORTIZ, B., TORRES, J., QUINTERO, R., & ISAACS, C. (2001). *Zonificación agroecológica PApara el cultivo de caña de azucar en el valle del río Cauca, tercera paroximación*. Cali: Centro de investigación de la caña de azucar Colombia (CENICAÑA).

CARBONELL, J., OSORIO, C., & CORTES, A. (2006). Levantamiento detallado de suelos en cifras. En *TECNICAÑA, Memorias VII Congreso, Vol 1: campo medio ambiente* (págs. 293 - 300). Cali.

CENICAÑA. (1997). *Comportamiento comercial de la caña de azúcar cosechada en 1996*. Cali: Centro de investigación de la caña de azúcar de Colombia.

CODAZZI, I. G., & CVC. (2004). *Levantamiento de suelos y zonificación de tierras del departamento del Valle del Cauca, Tomo 1*. Bogotá: Imprenta nacional de Colombia.

CORTES, L. A. (1982). *Geografía de los suelos de Colombia*. Bogotá: Universidad Jorge Tadeo Lozano.

CRUZ, R., & LÓPEZ, .. (1995). Adeacuación de tierras. En CENICAÑA, *El Cultivo de la Caña en la Zona Azucarera de Colombia* (págs. 85-108). Cali: Cassalett, C; Torres, J; Issacs, C.

DORRONSORO, C. (s.f.). *Impactos Ambientales*. Recuperado el 8 de Enero de 2011, de Contaminación del Suelo - Sales Solubles - Parte 02: www.estrucplan.com.ar

DRIESSEN, P., & DUDAL, R. (1991). *The major soils of the world: Lectures notes on their geography, formation, properties and use*. Wageningen: Katholieke Universiteit Leuven.

El Tiempo, D. (23 de Julio de 2010). Clima del Valle del Cauca se calentaría, como consecuencias del calentamiento global. *El Tiempo* , pág. Archivo eltiempo.com.

FAO, F. A. (1988). *Salt-Affected Soils and their Management*. Roma: FAO Publications.

FRYE, C. A., & RUÍZ, B. E. (1959). *Estudio de la salinidad de algunos suelos en el Valle del Cauca*. Palmira: Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia.

GARCIA O. A., M. C. (2004). Una mirada al origen y las propiedades de los. *Acta Agronómica* , 1-29 - Vol 53, N° 3.

GARCIA, A. y. (1991). La relación RAS-PSI en suelos del Valle del Cauca. *Suelos Ecuatoriales* , 21-26.

GARCIA, O. A. (2002). *Estudios básicos sobre los suelos afectados por una alta saturación de magnesio intercambiable en el Valle del río Cauca*. Palmira: Universidad Nacional de Colombia sede Palmira.

GARCIA, O. A. (2010). Manejo de la degradación del suelo. En S. C. suelo, *Ciencia del suelo principios básicos* (págs. 305 - 356). Bogotá: Guadalupe S.A.

GARCIA, O. A. (1998). Manejo de suelos salinos en América Latina. Palmira: Universidad Nacional de Colombia.

GARCIA, O. A. (2003). *Manejo de suelos salinos: características, propiedades y manejo*. Lima: Corporación Misti.

LORA, S. R. (2010). Propiedades químicas del suelo. En SCSC, *CIENCIA DEL SUELO Principio básicos* (págs. 73-138). Bogota: Editora Guadalupe S.A.

MADERO, M. E. (2004). *Causas reguladoras de la presencia y distribución de suelos con cantidades inusualmente altas de magnesio en el Valle del Cauca*. Palmira, 2004, 58 p. Tesis doctoral. Palmira: Universidad Nacional de Colombia.

MADERO, M. E. (26 de Noviembre de 2008). Problema de salinidad en el Valle del Cauca. (J. A. Ramírez, Entrevistador)

MARTINEZ, J. (1989). *Diagnóstico preliminar de la calidad de aguas para riego en el Valle del Cauca y su impacto en la agricultura*. Palmira: Universidad Nacional de Colombia.

PANTOJA, J. (2002). *Daños inducidos por la cosecha mecanizada en períodos húmedos y susceptibles a la compactación*. Palmira: Seminario de investigación IV.

PLA, I. (1979). Calidad y uso de agua para riego. *Suelos Ecuatoriales, Volumen X* , 26 - 50.

PLA, I. (1989). Salsodimar. Un modelo práctico para la predicción y control de la salinidad y sodicidad en tierras de regadío. *Universidad Central de Venezuela* .

QUINTERO, R. (1995). Fertilización y nutrición. En CENICAÑA, *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia* (págs. 153-178). Cali: Cassalet, C.; Torres, J.; e Issaacs, C.

RAMOS, O. (1995). Solera de la Caña de Azúcar. En CENICAÑA, *El Cultivo de la Caña en la Zona Azucarera de Colombia* (págs. 3 - 8). Cali: Cassalet, C; Torres, J; Isaacs, C.

RODRIGUEZ, C., & DAZA, O. (1995). Preparación de suelos. En CENICAÑA, *El Cultivo de la Caña en la Zona Azucarera de Colombia* (págs. 109-114). Cali: Cassalet, C; Torres, J; Issacs, C.

SPOSITO, G. (1989). *The Chemistry of Soils*. New York: Oxford University.

TORRES, J. (1995). Riegos. En CENICAÑA, *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia* (págs. 193-210). Cali: Cassalet,C.; Torres, J.; Isaacs, C.

VILLAFANE, R. (1995). Detección de suelos afectados por sales en áreas bajo riego de los estados portuguesa, Barinas y Lara, Venezuela. *Agronomía Tropical (Volumen 45)* , 445 - 456.

ZAPATA, R. D. (2004). Integration of two simple models in a geographical. *Soil Use and Management* , 333-342.

ANEXOS

Anexo A: Base de datos de la evaluación de suelos en campo

Punto	Municipio	Hacienda	Prof.	pH	C.E (dS/m)	Iones (meq/L)							
						Ca	Mg	K	Na	Cl	SO ₄	CO ₃	HCO ₃
0	ZARZAL	LAS LAJAS	0-20	6.1	0.2	1.2	1.2	0.2	0.5	0.9	0.6	0	1.6
			20-40	7	0.2	1.0	1.4	0.2	0.6	1.1	1.1	0	1.0
			40-60	7.1	0.1	0.7	1.0	1.0	0.5	1.7	0.5	0	1.4
			60-80	7.2	0.1	0.7	0.9	0.2	0.4	1.0	0.4	0	1.0
1		LAS LAJAS	0-20	7.3	1.5	15.4	13.4	0.2	4.9	1.0	32.0	0	1.5
			20-40	5.3	0.5	3.0	3.7	0.2	1.9	1.0	8.0	0	0.3
			40-60	6.9	0.7	6.0	5.6	0.1	2.7	0.9	13.0	0	0.8
			60-80	5.6	0.3	1.8	2.4	0.1	1.3	0.8	5.0	0	0.3
2		EL PLACER	0-20	6.5	0.2	0.9	0.9	0.2	0.6	1.0	0.9	0	1.3
			20-40	6.9	0.2	1.0	1.2	0.1	0.6	0.8	0.6	0	2.0
			40-60	6.5	0.1	0.3	0.5	0.1	0.4	0.8	0.5	0	0.5
			60-80	7.4	0.1	0.5	1.5	0.1	0.5	0.7	0.5	0	1.1
3		COROZAL	0-20	5.2	0.1	0.4	0.8	0.2	0.6	0.8	0.9	0	0.4
			20-40	6.2	0.1	0.5	0.6	0.1	0.7	2.4	0.6	0	0.8
			40-60	6.5	0.1	0.5	0.6	0.1	1.0	0.8	0.6	0	0.9
			60-80	6.1	0.1	0.5	0.5	0.1	0.8	0.7	0.7	0	0.5
4		EL PLACER	0-20	6	0.1	0.6	0.8	0.3	0.7	1.0	0.9	0	0.4
			20-40	6.3	0.1	0.6	0.8	0.1	0.8	0.7	0.5	0	0.9
			40-60	6.5	0.1	0.3	0.4	0.2	0.9	1.3	1.0	0	1.0
			60-80	6.7	0.1	0.1	0.2	0.1	1.1	1.0	0.6	0	0.4
5		SANTA MARTA NORTE	0-20	7	0.1	0.3	0.5	0.1	1.2	0.7	0.4	0	0.3
			20-40	7.4	0.4	0.8	1.0	0.1	4.7	0.8	2.7	0	0.2
			40-60	7.3	0.3	0.2	0.7	0.6	4.3	1.0	1.6	0	0.2
			60-80	7.1	0.2	0.3	0.7	0.0	3.0	1.0	0.8	0	2.5
6		LA LUISA	0-20	6.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	1.2	1.1	0	0.7
			20-40	6.4	0.1	0.5	1.1	0.1	0.5	1.0	0.6	0	0.2
			40-60	6.4	0.1	0.1	0.1	0.0	0.3	0.9	0.9	0	0.2
			60-80	6.7	0.1	0.1	0.3	0.1	0.5	1.0	0.6	0	0.2
7	COLON	0-20	6.8	0.2	0.9	1.2	0.2	1.3	0.9	0.7	0	1.8	
		20-40	5.7	0.1	0.4	0.9	0.2	1.1	0.8	1.6	0	0.4	

			40-60	4.3	0.1	0.4	0.9	0.2	1.1	0.8	1.2	0	0.2
			60-80	4.4	0.1	0.4	1.2	0.1	0.5	0.8	0.8	0	0.0
8		LA LUISA	0-20	6.1	0.1	0.6	0.6	0.1	0.4	1.2	0.6	0	0.6
			20-40	5.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.7	2.0	0.3	0	0.1
			40-60	4.1	0.1	0.3	0.3	0.1	0.4	1.5	0.6	0	0.2
			60-80	5.8	0.1	0.4	0.4	0.1	0.6	1.3	0.6	0	0.4
9		LA LUISA	0-20	6.6	0.1	0.5	0.6	0.0	0.8	1.7	0.6	0	0.5
			20-40	6.7	0.1	0.4	0.5	0.0	0.9	1.1	0.8	0	0.2
			40-60	6.6	0.9	4.5	5.9	0.1	5.5	0.8	4.3	0	1.2
			60-80	6.3	1.8	12.1	14.8	0.3	11.5	11.0	3.4	0	0.9
10	BUGALAGRANDE	RIOPAILA	0-20	6	0.1	0.8	0.6	0.2	0.6	1.0	0.7	0	1.0
			20-40	5.3	0.1	0.8	0.5	0.5	0.7	1.2	0.7	0	0.9
			40-60	6.2	0.1	0.8	0.5	0.1	0.8	1.2	0.5	0	1.1
			60-80	6.6	0.1	0.5	0.4	0.1	0.5	0.9	0.6	0	0.5
11		EL GUABITO	0-20	7.3	0.2	1.2	1.2	0.1	1.2	0.7	0.5	0	4.8
			20-40	7.5	0.2	0.8	0.8	0.1	1.4	0.8	0.5	0	3.3
			40-60	7.4	0.2	0.6	0.6	0.0	1.1	0.7	0.5	0	2.5
			60-80	7.5	0.2	0.4	0.6	0.0	1.3	0.7	0.6	0	2.2
12		RIOPAILA	0-20	7	0.3	1.2	1.4	0.2	2.1	2.5	0.7	0	1.9
			20-40	7.1	0.1	0.4	0.4	0.1	0.6	0.8	0.5	0	1.0
			40-60	6.6	0.1	0.3	0.4	0.1	0.7	0.7	0.9	0	0.7
			60-80	6.2	0.1	0.3	0.3	0.1	0.6	0.9	0.9	0	0.9
13		EL GUABITO	0-20	6.7	0.5	1.7	2.0	0.1	2.7	1.5	2.6	0	2.2
			20-40	5.3	0.5	1.9	2.0	0.1	2.9	1.5	3.5	0	1.3
			40-60	4.5	0.8	3.2	4.1	0.0	4.2	1.0	4.7	0	0.6
			60-80	4	0.8	3.7	4.6	0.1	3.7	1.2	5.5	0	0.1
14		VENECIA	0-20	5	0.1	0.4	0.7	0.2	0.7	1.0	1.3	0	1.0
			20-40	4.4	0.2	0.2	0.4	0.1	0.7	0.8	1.7	0	0.4
			40-60	3.9	0.2	0.5	0.8	0.1	1.6	2.0	0.8	0	0.0
			60-80	4.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.4	0.9	1.8	0	0.2
15		EL GUABITO	0-20	3.9	0.5	3.4	3.9	0.1	1.9	0.9	5.0	0	0.0
			20-40	3.8	0.9	3.9	4.8	0.0	3.4	0.9	5.0	0	0.0
			40-60	3.9	0.6	1.9	2.4	0.1	2.0	0.9	3.6	0	0.0
			60-80	5.6	0.7	2.2	3.0	0.1	3.7	2.3	3.5	0	0.1
16		VENECIA	0-20	6.8	0.5	2.0	2.0	0.1	3.2	1.4	2.4	0	2.7
			20-40	7.1	0.4	1.4	1.6	0.1	3.1	1.0	2.2	0	1.5
			40-60	6.8	0.3	0.6	0.7	0.1	1.6	0.8	1.5	0	0.3
			60-80	5.6	0.2	0.5	0.6	0.1	1.4	1.2	1.3	0	0.3

17	PERALONS O	0-20	7.2	0.2	1.0	1.4	0.1	3.0	1.2	2.3	0	4.5
		20-40	7.6	0.3	0.5	0.9	0.0	2.3	1.5	3.6	0	3.4
		40-60	7.7	0.3	0.7	1.0	0.1	4.0	0.9	3.0	0	3.8
		60-80	7.6	0.3	0.9	1.3	0.1	2.3	1.2	2.1	0	2.8
18	NORMANDI A	0-20	7.6	0.1	0.3	0.5	0.1	0.6	0.7	0.7	0	1.0
		20-40	5.9	0.1	0.4	0.8	0.6	0.5	1.5	1.9	0	0.9
		40-60	5.7	0.1	0.3	0.6	1.6	0.7	2.4	1.8	0	0.7
		60-80	4.2	0.2	0.4	0.5	0.2	0.9	1.0	1.6	0	0.0
19	VALPARAIS O	0-20	6.7	0.2	0.5	0.6	0.7	1.4	1.4	1.2	0	3.3
		20-40	6.9	0.3	0.5	0.7	0.9	2.4	2.0	2.4	0	2.2
		40-60	5.7	0.4	1.9	2.8	0.2	8.5	0.9	10.5	0	1.2
		60-80	6.6	1.6	3.1	5.1	0.3	13.8	2.7	13.6	0	2.2
20	NORMANDI A	0-20	5.8	0.1	0.3	0.5	0.2	0.7	1.1	1.3	0	1.3
		20-40	6.1	0.1	0.3	0.7	0.1	0.6	0.9	1.5	0	1.7
		40-60	5.5	0.1	0.3	0.6	0.1	1.0	0.9	1.7	0	1.0
		60-80	3.9	0.5	1.8	2.5	0.1	2.3	1.0	7.2	0	-
21	EL GOLFO	0-20	7	0.3	0.7	0.8	0.9	1.1	1.7	0.4	0	3.8
		20-40	7	0.1	0.3	0.3	0.3	1.1	1.3	0.5	0	2.6
		40-60	6.6	0.2	0.3	0.4	0.6	1.0	1.8	0.6	0	2.4
		60-80	5.3	0.1	0.2	0.3	0.1	0.9	1.2	0.9	0	1.1
22	NORMANDI A	0-20	5.2	0.1	0.4	1.0	0.2	1.0	1.0	2.2	0	-
		20-40	7.3	0.4	0.6	1.0	0.1	2.3	0.8	3.1	0	1.2
		40-60	6.8	0.9	2.5	5.5	0.1	9.2	0.7	12.7	0	1.0
		60-80	6.5	1.4	3.9	10.5	0.1	11.9	0.8	12.6	0	0.6
23	POTOSI GOLFO	0-20	6.3	0.1	0.4	0.5	0.1	0.4	1.1	1.5	0	0.1
		20-40	6.6	0.1	0.4	0.6	0.1	0.6	0.8	1.6	0	0.6
		40-60	6.7	0.2	0.5	1.1	0.1	1.0	1.0	5.9	0	0.9
		60-80	7.2	0.2	0.4	0.7	0.0	1.7	0.7	2.5	0	2.3
24	STA ROSA	0-20	6.5	0.2	0.5	0.6	0.1	1.1	1.6	1.5	0	0.9
		20-40	6.5	0.2	0.4	0.3	0.1	1.6	1.2	2.1	0	0.6
		40-60	6.8	0.3	0.4	0.6	0.0	4.4	1.0	4.9	0	1.4
		60-80	7.2	0.3	0.2	0.4	0.0	4.7	1.2	3.8	0	2.5
25	POTOSI GOLFO	0-20	6.3	0.1	0.5	0.5	0.1	0.6	1.0	1.0	0	0.5
		20-40	6.3	0.1	0.4	0.4	0.0	0.6	0.9	1.3	0	0.2
		40-60	6	0.1	0.2	0.3	0.1	0.7	0.8	2.6	0	0.1
		60-80	6.5	0.1	0.6	1.3	0.1	1.1	0.8	1.1	0	0.5
26	SAN NICOLAS	0-20	5.3	0.1	0.5	0.5	0.1	0.4	0.8	0.5	0	0.2
		20-40	5.7	0.1	0.2	0.3	0.1	0.7	1.0	1.4	0	0.0

			40-60	6	0.2	0.3	0.4	0.1	1.4	0.7	1.8	0	0.2
			60-80	6.7	0.3	0.7	1.0	0.1	2.8	0.7	1.9	0	0.5
27		SAMARIA	0-20	7.6	0.2	0.4	0.6	0.0	1.8	1.0	0.8	0	2.3
			20-40	7.2	0.2	0.3	0.7	0.1	1.8	1.3	1.6	0	2.4
			40-60	7.7	0.2	0.4	0.5	0.1	1.8	1.4	0.7	0	2.2
			60-80	7.6	0.1	0.2	0.3	0.1	0.9	1.0	0.5	0	1.0
28		LA ESPERANZA Y OTRO	0-20	4.7	0.1	0.4	0.3	0.1	0.4	1.2	0.6	0	-
			20-40	6	0.1	0.3	0.3	0.1	0.5	1.1	0.7	0	0.2
			40-60	7	0.1	0.3	0.4	0.0	0.7	0.9	0.3	0	0.8
			60-80	6.1	0.2	0.7	0.6	0.1	1.0	1.4	0.8	0	0.2
29		LUCERNA BOGOTA	0-20	6.7	0.2	0.6	0.8	0.1	0.7	1.3	0.9	0	0.3
			20-40	7.9	0.3	0.9	1.6	0.1	1.1	1.2	0.6	0	3.2
			40-60	7.9	0.2	0.4	0.8	0.1	1.7	1.3	0.5	0	2.1
			60-80	6.6	0.1	0.1	0.4	0.1	1.3	1.0	0.8	0	1.2
30		CAVI	0-20	7.3	0.2	1.2	0.7	0.1	0.4	0.9	0.9	0	1.0
			20-40	7.5	0.2	1.1	0.9	0.1	0.5	1.2	0.5	0	1.1
			40-60	6.6	0.2	0.8	0.6	0.4	0.6	1.7	0.6	0	0.1
			60-80	5.8	0.1	0.4	0.3	0.6	0.5	1.4	0.4	0	0.0
31		CAVI	0-20	6.9	0.2	1.2	0.9	0.7	0.6	1.5	1.1	0	0.8
			20-40	3.9	0.4	1.5	1.0	0.4	0.7	1.8	0.7	0	-
			40-60	4.6	0.3	0.8	0.6	0.4	0.8	1.8	0.8	0	0.0
			60-80	3.9	0.2	0.9	0.6	0.2	0.5	1.5	1.0	0	-
32		LA MARGARITA CRUZ	0-20	5.1	0.2	0.8	0.5	0.2	0.7	1.8	0.5	0	0.3
			20-40	4.3	0.3	1.1	0.6	0.3	1.0	2.0	0.8	0	-
			40-60	4.1	0.2	0.6	0.4	0.2	0.6	1.5	0.6	0	-
			60-80	4.3	0.2	0.5	0.4	0.1	0.7	1.7	0.7	0	0.1
33		EL DIAMANTE	0-20	6.8	0.1	2.6	2.9	0.3	0.8	2.0	1.5	0	1.4
			20-40	7	0.2	1.5	1.8	0.2	0.7	1.7	0.6	0	2.5
			40-60	7	0.2	0.8	1.0	0.2	0.6	1.7	0.3	0	1.0
			60-80	6.9	0.2	0.8	1.0	0.2	0.6	1.6	0.3	0	1.3
34		CHUNDULAR	0-20	7.3	0.1	2.3	2.4	0.2	1.6	2.5	0.7	0	3.5
			20-40	7.3	0.2	0.8	1.0	0.2	1.7	1.7	0.6	0	1.8
			40-60	7.4	0.2	0.9	1.0	0.2	1.6	1.8	1.0	0	1.5
			60-80	7	0.1	1.2	1.2	0.2	1.5	1.7	1.7	0	1.0
35		EL DELIRIO	0-20	7.2	0.2	1.3	1.2	0.2	0.9	1.7	0.7	0	1.5
			20-40	7.4	0.2	0.9	0.9	0.2	0.9	1.8	0.4	0	1.7
			40-60	6.9	0.2	0.8	0.7	0.0	0.4	1.6	0.4	0	1.2
			60-80	6.7	0.1	0.6	0.5	0.3	0.3	1.5	0.4	0	1.0

36	SAN PEDRO	PRIMAVERA	0-20	6.6	0.2	0.7	0.9	0.1	0.5	1.4	0.7	0	0.9
			20-40	6.9	0.2	0.6	0.9	0.1	0.5	1.3	0.5	0	1.0
			40-60	7.1	0.2	0.5	1.3	0.1	1.0	1.1	0.5	0	1.9
			60-80	7.1	0.2	0.4	1.0	0.1	0.9	1.0	0.5	0	2.0
37		MALLORCA	0-20	7	0.3	1.4	1.8	0.1	0.4	1.5	0.8	0	2.9
			20-40	7	0.2	0.7	1.1	0.1	0.4	1.2	0.6	0	1.6
			40-60	6.9	0.2	0.6	1.0	0.1	0.5	1.3	0.6	0	0.8
			60-80	6.9	0.1	0.5	0.9	0.1	0.5	0.9	0.6	0	1.1
38		SAN IGNACIO	0-20	6.6	0.1	0.9	0.8	0.1	0.4	0.8	0.7	0	1.3
			20-40	7.1	0.2	1.2	1.3	0.1	0.7	1.0	0.5	0	2.9
			40-60	6.9	0.2	0.6	0.7	0.0	0.7	0.9	0.3	0	1.2
			60-80	6.7	0.2	0.7	0.6	0.0	0.6	1.1	0.6	0	0.6
39		ESMERALDA	0-20	6.9	0.2	1.0	1.0	0.1	0.4	0.9	0.6	0	1.9
			20-40	6.7	0.1	0.7	0.7	0.1	0.4	1.0	0.5	0	1.2
			40-60	7	0.2	0.7	0.7	0.1	0.5	0.9	0.4	0	1.1
			60-80	6.7	0.2	0.5	0.6	0.1	0.6	1.2	0.4	0	0.9
40		BALLESTROS	0-20	6.2	0.2	0.8	0.7	0.1	0.4	1.0	0.8	0	0.7
			20-40	6.5	0.2	0.4	0.4	0.1	0.7	1.0	0.7	0	0.5
			40-60	6.2	0.2	0.4	0.5	0.1	0.9	1.1	0.6	0	0.0
			60-80	6.7	0.1	0.6	0.8	0.1	1.4	1.0	1.0	0	1.3
41		BALLESTROS	0-20	6.6	0.2	0.8	1.0	0.1	1.4	1.0	0.6	0	1.7
			20-40	6.9	0.1	0.3	0.5	0.1	1.7	1.1	0.5	0	1.3
			40-60	6.8	0.1	0.1	0.4	0.1	1.8	1.0	0.6	0	1.6
			60-80	7	0.1	0.2	0.7	0.1	2.7	1.0	0.8	0	2.2
42		SILENCIO	0-20	6.4	0.2	0.4	0.6	0.1	0.4	1.0	0.8	0	0.7
			20-40	6	0.0	0.7	0.9	0.1	0.6	1.1	1.0	0	0.1
			40-60	7.6	0.2	0.5	0.7	0.1	0.7	1.2	0.7	0	1.1
			60-80	6.6	0.1	0.3	0.7	0.1	0.9	1.1	0.6	0	1.2
43		DANUBIO	0-20	7.3	0.1	0.8	0.6	0.1	0.5	1.4	0.5	0	1.0
			20-40	7.5	0.1	0.9	0.6	0.1	0.6	1.3	0.4	0	1.3
			40-60	7.2	0.1	0.6	0.5	0.1	0.6	1.6	0.4	0	1.0
			60-80	6.8	0.3	0.6	0.4	0.1	0.7	1.8	0.4	0	0.9
44		SAN DIEGO	0-20	6.6	0.0	1.3	1.0	0.1	0.5	1.1	0.8	0	0.5
			20-40	6.7	0.1	0.5	0.5	0.0	0.5	1.1	0.5	0	1.2
			40-60	6.4	0.1	0.6	0.7	0.0	1.0	1.1	0.6	0	0.6
			60-80	6.3	0.1	0.3	0.4	0.1	0.7	1.1	1.1	0	0.4
45	SAN PEDRO	ARGELIA	0-20	7.2	0.1	0.6	0.6	0.1	0.5	1.3	0.6	0	0.8
			20-40	7.3	0.1	0.5	0.7	0.1	0.6	1.1	0.5	0	1.1

			40-60	6.7	0.1	0.5	0.8	0.1	1.0	1.0	0.5	0	1.4
			60-80	7	0.1	0.3	0.5	0.0	1.1	1.3	0.4	0	1.1
46		RANCHO GRANDE	0-20	7.5	0.1	1.3	0.9	0.2	0.5	1.0	0.4	0	2.0
			20-40	7.8	0.1	0.8	0.7	0.2	0.5	1.0	0.5	0	1.1
			40-60	7.5	0.1	1.3	1.6	0.2	0.5	1.1	0.5	0	1.3
			60-80	7.4	0.1	0.7	0.9	0.2	0.4	1.1	0.4	0	1.5
47		MARIA C.PALAU	0-20	7.5	0.1	1.1	1.3	0.1	1.1	1.6	0.6	0	5.7
			20-40	7.2	0.1	0.5	0.6	0.0	0.7	1.2	0.6	0	0.4
			40-60	7.1	0.1	0.6	0.8	0.1	1.0	1.3	0.6	0	1.1
			60-80	7.6	0.1	0.6	0.9	0.1	1.3	1.7	0.7	0	1.1
48		CHAMBIMBAL	0-20	7.7	0.2	1.3	1.4	0.1	2.5	1.3	1.5	0	4.1
			20-40	7.3	0.1	0.4	0.7	0.0	2.2	1.0	1.5	0	2.1
			40-60	7.5	0.2	0.3	0.5	0.0	2.8	0.8	1.4	0	2.4
			60-80	7.4	0.2	0.2	0.4	0.0	3.2	1.0	1.3	0	3.0
49		CHAMBIMBAL	0-20	6.8	0.2	5.1	6.4	0.1	13.1	1.2	5.7	0	2.2
			20-40	6.6	0.1	11.1	20.9	0.1	29.2	1.3	2.1	0	1.5
			40-60	6.7	0.1	14.3	37.0	0.1	38.2	1.3	1.0	0	2.1
			60-80	6.5	0.1	10.5	31.5	0.1	35.6	1.0	1.0	0	1.8
50		CHAMBIMBAL	0-20	6.3	0.1	0.4	0.4	0.1	1.3	0.8	1.4	0	0.9
			20-40	6.8	0.1	1.4	1.3	0.1	5.6	0.8	3.9	0	1.5
			40-60	6.4	0.1	3.3	3.7	0.1	11.8	0.8	3.3	0	0.9
			60-80	6	0.1	7.6	11.8	0.1	19.3	1.0	1.7	0	0.8
51		LA ESMERALDA	0-20	7	0.2	0.8	0.7	0.1	1.2	0.8	0.4	0	2.5
			20-40	6.3	0.1	0.3	0.2	0.1	0.5	1.1	1.3	0	0.5
			40-60	6.9	0.5	0.3	0.3	0.1	5.3	1.2	3.6	0	0.9
			60-80	6.4	0.5	0.3	0.6	0.1	4.9	1.2	4.8	0	0.5
52		EL REFLEJO	0-20	7.2	0.2	0.9	0.9	0.1	0.9	1.1	0.5	0	2.5
			20-40	7.2	0.2	0.3	0.3	0.1	1.2	1.2	0.5	0	1.3
			40-60	7.4	0.1	0.4	0.4	0.0	1.4	1.1	0.5	0	1.6
			60-80	7.2	0.2	0.6	0.6	0.0	1.3	1.2	0.9	0	1.5
53		EL JAPON	0-20	6.9	0.1	0.5	0.4	0.0	1.2	1.2	0.6	0	1.5
			20-40	7.2	0.2	0.5	0.4	0.0	3.0	1.7	0.7	0	1.8
			40-60	7.2	0.2	0.3	0.3	0.0	3.5	1.3	1.8	0	1.4
			60-80	7.4	0.3	0.3	0.3	0.0	4.9	1.4	2.8	0	1.3
54		EL SAMAN	0-20	7.3	0.3	2.1	2.1	0.1	0.5	1.4	1.1	0	3.2
			20-40	7.5	0.3	1.3	1.7	0.1	0.7	1.4	0.9	0	2.4
			40-60	7.3	0.2	0.8	1.1	0.0	0.9	1.1	0.8	0	1.5
			60-80	7.5	0.2	0.8	1.0	0.1	1.2	1.2	1.2	0	1.3

55	BUGA	PALOBLANCO ARANGO	0-20	7.5	0.3	1.1	1.1	0.1	1.5	1.3	0.9	0	2.3
			20-40	7.2	0.3	0.5	0.8	0.1	2.1	1.5	0.9	0	1.6
			40-60	7.4	0.2	0.2	0.3	0.0	2.1	1.2	0.9	0	1.4
			60-80	7.3	0.2	0.1	0.1	0.0	2.0	2.0	1.1	0	1.5
56		SAN JUANITO	0-20	6.8	0.1	0.6	0.4	0.0	0.5	1.0	0.6	0	1.3
			20-40	6.9	0.1	0.4	0.3	0.0	0.7	1.0	0.5	0	0.9
			40-60	5.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.4	1.0	0.5	0	0.4
			60-80	5.5	0.1	0.1	0.1	0.0	0.3	1.1	0.5	0	0.5
57		TIACUANTE	0-20	5.8	0.1	0.4	0.3	0.0	0.7	1.0	0.9	0	0.9
			20-40	5.6	0.1	0.2	0.3	0.0	0.7	0.8	0.9	0	0.5
			40-60	5.9	0.1	0.1	0.2	0.0	0.6	0.8	0.8	0	0.4
			60-80	6.3	0.1	0.1	0.2	0.0	0.7	0.8	0.7	0	0.4
58		TIACUANTE	0-20	7	0.2	1.5	1.0	0.1	0.8	1.0	0.5	0	2.7
			20-40	7.2	0.2	1.0	0.6	0.0	0.6	1.1	0.4	0	1.5
			40-60	6.6	0.1	0.2	0.2	0.0	0.4	1.0	0.5	0	0.2
			60-80	4.5	0.1	0.3	0.2	0.0	0.4	1.0	0.6	0	0.2
59		SAN JUANITO	0-20	6.8	0.1	0.5	0.5	0.0	0.9	1.1	0.4	0	1.1
			20-40	6.8	0.1	0.3	0.4	0.0	1.3	0.7	0.5	0	1.5
			40-60	7	0.1	0.1	0.1	0.0	0.6	0.6	0.3	0	0.9
			60-80	7.1	0.1	0.4	0.4	0.0	0.7	0.6	0.6	0	0.8
60	BUGA	SAN JOSE GARCES	0-20	6.1	0.2	0.3	0.2	0.1	0.5	0.5	0.4	0	1.7
			20-40	5.7	0.1	0.1	0.1	0.0	0.3	0.7	0.5	0	0.8
			40-60	5.7	1.0	0.1	0.1	0.0	0.3	0.5	0.5	0	0.7
			60-80	4.8	0.1	0.1	0.1	0.0	0.3	0.7	0.4	0	0.6
61		LA FORTALEZ A	0-20	6	0.1	0.4	0.3	0.0	0.4	0.8	0.4	0	1.5
			20-40	6.1	0.1	0.2	0.1	0.0	0.4	0.7	0.4	0	0.3
			40-60	4.6	0.1	0.0	0.1	0.0	0.3	0.9	0.4	0	0.7
			60-80	4.4	0.0	0.1	0.1	0.0	0.3	0.7	0.4	0	0.5
62		LA FORTALEZ A	0-20	6.6	0.2	1.0	0.8	0.0	0.7	0.7	0.5	0	1.8
			20-40	6.5	0.1	0.1	0.1	0.0	0.7	0.9	0.5	0	0.9
			40-60	6.3	0.1	0.1	0.1	0.0	0.6	0.8	0.5	0	0.8
			60-80	6	0.1	0.1	0.1	0.0	0.5	1.0	0.5	0	0.6
63		STA MONICA C	0-20	7.3	0.2	1.1	1.3	0.1	1.2	1.1	0.8	0	5.4
			20-40	7.3	0.8	0.9	1.4	0.1	1.3	1.1	0.6	0	4.8
			40-60	7.1	0.2	0.3	0.6	0.0	1.0	1.3	0.4	0	3.1
			60-80	6.9	0.4	0.2	0.5	0.0	1.2	1.2	0.4	0	2.2
64	ANDALUCI A II	0-20	6.9	0.4	1.3	1.0	0.1	0.4	1.1	0.5	0	3.2	
		20-40	6.8	0.2	1.1	1.2	0.1	0.9	1.3	0.5	0	3.8	

			40-60	6.9	0.2	0.9	1.3	0.0	1.1	0.8	1.2	0	4.0
			60-80	6.9	0.2	0.5	0.8	0.0	1.0	1.3	1.1	0	1.9
65		EL GUAYABITO	0-20	7	0.1	1.0	1.0	0.1	0.4	1.2	1.0	0	3.7
			20-40	7.2	0.2	1.4	1.3	0.0	0.7	0.9	0.3	0	4.6
			40-60	7	0.1	0.7	0.9	0.0	0.8	1.0	0.4	0	3.9
			60-80	7.2	0.1	0.3	0.4	0.0	0.8	0.9	0.2	0	3.4
66		SANTA ANA	0-20	7.2	0.1	0.6	0.4	2.6	0.4	3.1	0.2	0	2.7
			20-40	6.7	0.2	0.3	0.3	0.2	0.5	1.1	0.3	0	1.1
			40-60	6.5	0.3	0.3	0.2	0.2	0.4	1.4	0.4	0	0.8
			60-80	6.5	0.1	0.3	0.2	5.1	0.6	5.4	0.4	0	0.9
67		LA ESPERANZA	0-20	7.2	0.2	0.9	0.8	0.2	0.4	1.7	0.3	0	3.8
			20-40	7.3	0.2	1.1	1.1	0.4	0.6	1.8	0.4	0	4.9
			40-60	7	0.1	0.4	0.7	0.2	0.5	1.3	0.2	0	2.0
			60-80	7.1	0.1	0.2	0.5	0.3	0.5	1.4	0.2	0	2.2
68		SANTA ANA	0-20	6.9	0.2	0.9	0.7	0.6	0.5	1.1	0.3	0	2.4
			20-40	5.9	0.3	0.3	0.2	0.4	0.3	1.4	0.4	0	0.9
			40-60	7.1	0.2	0.6	0.5	0.3	0.5	1.6	0.3	0	2.5
			60-80	7	0.3	0.5	0.4	1.5	0.5	2.0	0.2	0	2.0
69		PATEMON O	0-20	7	0.2	0.7	0.6	0.1	0.9	1.3	0.6	0	3.4
			20-40	7.1	0.1	0.6	0.6	0.1	0.9	1.4	0.4	0	3.8
			40-60	7.3	0.1	0.2	0.3	0.0	1.0	1.3	0.4	0	1.8
			60-80	7	0.2	0.3	0.5	0.0	1.3	1.5	0.8	0	2.3
70	GUACARÍ	ALBANIA	0-20	7.2	0.3	1.6	1.0	0.1	0.4	1.2	0.6	0	5.1
			20-40	7.3	0.1	1.3	0.8	0.0	0.5	1.2	0.3	0	3.8
			40-60	7.3	0.2	0.9	0.6	0.0	0.3	1.3	0.1	0	3.2
			60-80	7.4	0.1	1.1	0.6	0.0	0.6	1.4	0.1	0	4.1
71		TESORITO	0-20	7.6	0.3	1.3	1.0	0.1	0.5	1.4	0.3	0	5.0
			20-40	7.5	0.2	0.8	0.6	0.1	0.4	1.4	0.1	0	3.3
			40-60	7.2	0.1	0.9	0.6	0.1	0.4	1.1	0.2	0	3.6
			60-80	7.4	0.1	0.9	0.7	0.0	0.5	1.0	0.1	0	3.5
72		LA JULIA 2	0-20	7.6	0.2	1.8	1.7	0.1	0.7	1.8	0.6	0	6.0
			20-40	6.7	0.2	0.3	0.2	0.1	0.4	1.4	0.3	0	1.5
			40-60	7.4	0.3	0.4	0.6	0.0	1.4	1.0	0.5	0	3.8
			60-80	7.8	0.5	0.5	0.5	0.0	1.7	1.4	0.5	0	4.0
73		LA ESTANCIA	0-20	7.5	0.3	1.6	1.2	0.1	0.6	1.7	0.5	0	4.8
			20-40	8.1	0.1	1.3	0.9	0.1	0.6	1.5	0.5	0	4.2
			40-60	7.3	0.2	0.5	0.4	0.0	0.5	1.1	0.3	0	2.0
			60-80	7.3	0.3	0.7	0.5	0.0	0.4	1.1	0.3	0	2.2

74		SAN RAFAEL CANANGUA 2	0-20	7.6	0.2	1.0	0.6	0.0	1.0	1.3	0.5	0	3.3
			20-40	7.1	0.1	0.9	0.8	0.0	1.0	1.5	0.4	0	2.2
			40-60	7.2	0.3	0.5	0.4	0.0	0.9	1.4	0.4	0	1.4
			60-80	7.2	0.1	0.5	0.4	0.0	0.8	1.5	0.5	0	1.3
75		PALO ALTO ABADIA	0-20	7.7	0.2	1.9	1.8	0.2	2.4	2.1	0.9	0	9.1
			20-40	7.3	0.3	1.4	1.2	0.4	1.4	1.8	0.8	0	5.9
			40-60	7	0.0	0.8	0.6	0.2	0.5	1.4	0.4	0	3.6
			60-80	7	0.1	0.7	0.6	0.1	0.7	1.3	0.4	0	3.2
76		BUENOS AIRES	0-20	7.1	0.2	1.2	0.6	0.2	0.3	1.3	0.3	0	4.1
			20-40	6.9	0.2	0.7	0.4	0.1	0.3	1.1	0.3	0	2.9
			40-60	7.2	0.1	0.7	0.5	0.1	0.4	1.3	0.2	0	3.2
			60-80	6.8	0.3	0.6	0.4	0.4	0.4	1.5	0.1	0	2.8
77		CHAMBERY GUABAS	0-20	7.1	0.4	1.5	1.1	0.1	0.4	1.1	0.3	0	1.2
			20-40	7	0.5	0.7	0.5	0.1	0.3	1.2	0.3	0	3.2
			40-60	6.8	0.3	0.4	0.2	0.1	0.2	1.0	0.2	0	0.9
			60-80	6.9	0.2	0.4	0.2	0.1	0.2	1.1	0.2	0	1.4
78		LA MARGARITA	0-20	6.5	0.1	0.8	0.6	0.1	0.3	1.1	0.8	0	2.3
			20-40	6.6	0.1	0.9	0.7	0.1	0.4	0.8	1.5	0	2.1
			40-60	6.5	0.2	0.4	0.3	0.1	0.4	1.1	1.0	0	1.1
			60-80	6.6	0.2	0.5	0.5	0.1	0.6	0.9	1.1	0	1.4
79		MONTEOS CURO LOTE 1	0-20	6.9	0.1	0.5	0.3	0.1	0.4	1.1	0.4	0	2.1
			20-40	6.7	0.3	1.0	0.5	0.1	0.7	0.7	0.8	0	1.8
			40-60	6.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.3	0.9	0.3	0	0.6
			60-80	6.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.3	1.0	0.3	0	0.5
80	EL CERRITO	EL PALMAR PAYERAS	0-20	6.5	0.4	0.7	0.6	0.1	0.4	1.2	0.7	0	1.3
			20-40	6.6	0.5	0.9	0.7	0.1	0.5	1.5	0.7	0	1.5
			40-60	6.1	0.1	0.7	0.6	0.1	0.6	1.1	0.7	0	1.1
			60-80	4.9	0.1	0.6	0.5	0.1	0.5	0.9	0.7	0	0.6
81		SAN MIGUEL 2	0-20	6.9	0.2	1.2	1.0	0.2	0.6	1.4	0.5	0	4.4
			20-40	7	0.3	2.0	1.8	0.1	1.0	1.3	0.6	0	2.6
			40-60	7.2	0.1	0.4	0.5	0.1	1.2	1.2	0.4	0	3.9
			60-80	7.2	0.1	0.3	0.3	0.1	1.6	1.0	0.5	0	3.8
82		SAN MIGUEL 2	0-20	7.5	0.2	1.8	1.6	0.4	1.7	1.2	1.3	0	8.3
			20-40	7.8	0.3	1.4	1.4	0.2	4.2	1.1	2.8	0	6.6
			40-60	7.8	0.1	1.2	0.9	0.1	3.9	1.1	2.4	0	5.7
			60-80	7.4	0.1	0.6	0.6	0.1	3.0	0.9	1.8	0	4.1
83		SAN CARLOS	0-20	7.5	0.1	2.3	1.0	0.1	0.8	1.0	0.6	0	7.0
			20-40	7.3	0.2	1.2	0.6	0.1	1.1	1.6	0.5	0	3.6

			40-60	7.2	0.5	0.8	0.4	0.1	0.9	0.9	0.6	0	2.5
			60-80	7.3	0.7	0.9	0.4	0.1	0.9	1.3	0.5	0	2.9
84		CANELO # 1	0-20	7.5	0.2	0.6	0.8	0.1	2.6	1.3	0.9	0	6.9
			20-40	7.4	0.1	0.2	0.6	0.1	3.1	1.2	1.3	0	5.8
			40-60	7.1	0.2	0.2	0.6	0.0	2.0	0.9	1.1	0	3.9
			60-80	7.1	0.1	0.5	1.0	0.0	1.3	1.0	1.4	0	3.1
85		CASABLAN CA 2	0-20	7.2	0.3	1.0	1.0	0.1	0.6	1.2	0.6	0	5.0
			20-40	7.1	0.4	0.4	0.7	0.1	0.9	0.9	0.5	0	3.7
			40-60	7.1	0.1	0.3	0.8	0.1	1.3	0.7	0.6	0	4.0
			60-80	7.1	0.2	0.3	1.0	0.1	1.4	1.0	0.8	0	3.9
86		MILAN	0-20	6.6	0.1	0.8	0.5	0.1	0.6	1.3	0.6	0	2.8
			20-40	6.4	0.2	0.2	0.2	0.1	0.4	1.1	0.6	0	0.7
			40-60	6.8	0.1	0.6	0.5	0.1	0.9	1.0	0.4	0	3.2
			60-80	7.1	0.1	0.3	0.3	0.1	0.8	1.0	0.4	0	2.0
87		LA INSULA	0-20	7.5	0.1	2.1	2.0	0.1	2.1	1.0	1.6	0	3.8
			20-40	7.5	0.1	1.1	1.2	0.8	1.8	1.8	1.3	0	5.1
			40-60	7.3	0.2	0.6	0.8	0.5	1.6	1.6	1.2	0	4.9
			60-80	6.7	0.1	0.9	1.4	0.4	2.0	1.4	1.9	0	4.0
88		LA TRIBUNA	0-20	7.2	0.1	2.9	2.7	0.5	0.8	2.3	2.6	0	5.1
			20-40	7.5	0.1	1.1	1.3	0.7	1.0	1.7	1.4	0	4.2
			40-60	7.2	0.2	1.0	1.0	0.6	0.8	1.6	1.0	0	2.8
			60-80	7.5	0.1	0.5	0.7	0.6	0.7	1.5	0.6	0	2.7
89		SAN FERNANDO	0-20	7.3	0.2	1.2	0.9	0.6	0.8	1.8	0.6	0	4.1
			20-40	6.8	0.3	0.6	0.5	0.3	0.8	1.2	0.8	0	2.5
			40-60	5.8	0.4	0.3	0.2	3.5	0.5	5.0	1.0	0	0.9
			60-80	6.2	0.1	0.3	0.2	0.3	0.6	1.4	0.7	0	0.6
90		SAN FERNANDO	0-20	6.8	0.2	1.0	0.6	1.0	0.5	2.0	0.8	0	3.0
			20-40	6.6	0.1	0.6	0.4	0.1	0.5	1.1	0.6	0	1.6
			40-60	6.7	0.2	0.4	0.3	0.1	0.4	1.0	0.5	0	1.8
			60-80	7.2	0.3	0.3	0.3	2.0	0.4	2.8	0.4	0	2.0
91		LA ESPERANZ A SERNA	0-20	7.4	0.1	0.8	0.7	0.1	0.9	1.1	0.6	0	4.0
			20-40	6.5	0.1	0.3	0.3	2.9	0.7	4.0	0.4	0	2.3
			40-60	6.9	0.2	0.5	0.6	0.1	0.9	1.1	0.5	0	2.4
			60-80	6.9	0.1	0.3	0.4	0.1	1.1	1.1	0.5	0	2.7
92		GENOVA	0-20	7	0.2	0.4	0.4	0.2	2.2	1.0	0.7	0	4.9
			20-40	7	0.2	0.2	0.4	0.4	2.9	1.3	1.4	0	4.8
			40-60	7.5	0.2	0.2	0.3	0.1	3.7	1.2	1.4	0	5.4
			60-80	7.2	0.1	0.1	0.2	0.4	3.2	1.4	1.3	0	4.7

93	MILAN	0-20	7	0.3	1.1	0.7	0.1	0.6	1.5	0.5	0	1.9
		20-40	6.8	0.2	0.5	0.4	0.0	0.5	1.2	0.5	0	0.9
		40-60	6.2	0.1	0.2	0.1	0.0	0.3	1.0	0.3	0	0.3
		60-80	6.6	0.1	0.3	0.2	0.0	0.4	1.1	0.5	0	0.4
94	MARSELLA	0-20	6.7	0.2	1.2	0.8	0.2	0.3	1.6	1.2	0	0.4
		20-40	6.5	0.1	0.8	0.5	0.1	0.4	1.2	0.8	0	0.6
		40-60	7	0.4	0.8	0.5	0.1	0.6	1.2	0.6	0	0.7
		60-80	6.1	0.2	0.4	0.3	0.0	0.5	1.1	0.5	0	0.2
95	TURIN	0-20	6.8	0.2	0.9	0.5	0.1	0.4	1.2	0.4	0	1.0
		20-40	6.4	0.2	0.4	0.2	0.0	0.3	1.2	0.5	0	0.3
		40-60	6.9	0.1	0.6	0.4	0.0	0.4	1.2	0.5	0	0.7
		60-80	6.9	0.1	0.7	0.4	0.0	0.4	1.0	0.7	0	1.4
96	ROSALIA	0-20	6.6	0.2	0.5	0.4	0.1	0.4	1.1	0.5	0	1.4
		20-40	6.6	0.1	0.3	0.2	0.1	0.3	1.1	0.5	0	0.7
		40-60	6.9	0.2	0.7	0.4	0.1	0.3	1.1	0.4	0	0.8
		60-80	6.3	0.1	0.7	0.3	0.1	0.4	1.2	0.5	0	0.7
97	LA VEGA RESTREPO	0-20	6.4	0.1	0.6	0.3	0.2	0.5	1.1	0.5	0	0.8
		20-40	6	0.2	0.3	0.2	0.1	0.5	1.0	0.5	0	0.6
		40-60	6.6	0.1	0.4	0.2	0.0	0.6	1.2	0.4	0	0.9
		60-80	6.6	0.1	0.6	0.3	0.1	0.5	1.1	0.4	0	1.2
98	GENOVA	0-20	6.7	0.1	0.8	0.5	0.1	0.5	1.0	0.5	0	1.2
		20-40	7	0.2	0.9	0.7	0.1	0.7	1.0	0.3	0	1.3
		40-60	6.7	0.1	0.4	0.5	0.1	0.6	0.9	0.5	0	0.7
		60-80	6.6	0.2	0.6	0.4	0.0	0.6	0.8	0.3	0	1.1
99	SANTA RITA	0-20	6.6	0.1	0.9	0.5	0.1	0.3	1.0	0.3	0	1.1
		20-40	5.9	0.1	0.2	0.1	0.0	0.5	1.0	0.2	0	0.2
		40-60	6.5	0.1	0.4	0.5	0.1	0.4	1.0	0.3	0	0.9
		60-80	6.9	0.1	0.4	0.5	0.1	0.3	1.2	0.3	0	0.8

Anexo B: Base de datos del agua de riego de la zona de estudio

Punto	Municipio	Hacienda	pH	C.e (dS/m)	Iones (meq/L)								Fuente
					Ca	Mg	K	Na	HCO3	CO3	Cl-	SO4	
0	ZARZAL	LAS LAJAS	7.9	0.2	1.0	0.9	0.1	0.5	1.3	0.0	0.5	0.6	Canal
1		LAS LAJAS	8	0.2	0.8	0.7	0.1	0.4	1.3	0.0	0.6	0.1	Canal
2		EL PLACER	7.4	0.4	1.9	1.9	0.1	0.8	3.9	0.0	0.5	0.3	Canal
3		COROZAL	6.9	0.6	3.3	3.1	0.1	1.2	2.8	0.0	0.5	4.5	Canal
4		EL PLACER	7.2	0.2	0.9	1.0	0.1	0.1	2.2	0.0	0.5	0.0	Canal
5		SANTA MARTA NORTE	7.7	0.4	1.3	1.6	0.1	0.6	3.8	0.0	0.5	0.0	Canal
6		LA LUISA	8.8	0.2	0.2	0.9	0.1	0.4	1.2	1.6	0.4	0.0	Río Cauca
7		COLON	8.1	0.2	0.7	0.8	0.2	0.4	1.4	0.0	0.5	0.2	Río Cauca
8		LA LUISA	6.9	0.2	0.4	1.0	0.1	0.5	1.5	0.0	0.4	0.0	Río Cauca
9		LA LUISA	6.9	0.2	0.2	1.1	0.1	0.5	1.9	0.0	0.3	0.0	Canal
10	BUGA LA GRANDE	RIOPAILA	7.4	0.2	1.2	1.0	0.3	0.5	1.7	0.0	0.5	0.9	Río Cauca
11		EL GUABITO	5.7	0.4	0.6	1.7	0.1	0.6	3.5	0.0	0.3	0.0	Río Cauca
12		RIOPAILA	7.1	0.2	0.8	1.0	0.2	0.5	1.7	0.0	0.5	0.3	Río Cauca
13		EL GUABITO	6.0	0.4	0.5	1.7	0.1	0.6	3.7	0.0	0.4	0.0	Río Cauca
14		VENECIA	5.8	0.4	0.5	1.7	0.1	0.6	3.7	0.0	0.3	0.0	Río Cauca
15		EL GUABITO	7.2	0.4	1.9	2.4	0.2	0.9	4.5	0.0	0.5	0.3	Canal
16		VENECIA	7.0	0.4	1.9	2.1	0.2	1.0	4.2	0.0	0.6	0.3	Canal
17		PERALONSO	6.4	0.2	1.0	0.8	0.2	0.5	1.4	0.0	0.5	0.5	Río Cauca
18		NORMANDIA	6.3	0.2	0.9	0.9	0.2	0.5	1.4	0.0	0.6	0.5	Río Cauca
19		VALPARAISO	7.2	0.2	1.3	1.1	0.2	0.2	2.3	0.0	0.5	0.0	Río Cauca
20		NORMANDIA	6.2	0.4	1.6	2.0	0.2	1.1	3.4	0.0	0.8	0.7	Canal
21		EL GOLFO	7.1	0.3	1.1	1.6	0.2	0.9	3.4	0.0	0.7	0.0	Canal
22		NORMANDIA	8.0	0.2	0.6	0.8	0.1	0.5	1.2	0.0	0.5	0.3	Canal
23		POTOSI GOLFO	7.1	0.3	1.5	0.9	0.2	0.9	3.6	0.0	0.6	0.0	Canal
24		STA ROSA	7.1	0.3	1.2	1.7	0.1	0.4	0.3	0.0	0.5	2.5	Canal
25		POTOSI GOLFO	7.3	0.3	1.4	1.9	0.2	0.8	3.6	0.0	0.6	0.0	Canal
26		SAN NICOLAS	6.1	0.2	1.2	1.1	0.1	0.1	2.1	0.0	0.6	0.0	Canal
27		SAMARIA	7.4	0.2	1.0	1.1	0.0	0.1	2.4	0.0	0.6	0.0	Río Guadalajara
28		LA ESPERANZA Y OTRO	7.6	0.2	1.0	1.2	0.2	0.1	2.0	0.0	0.5	0.1	Río
29		LUCERNA BOGOTA	7.3	0.4	0.0	1.9	0.1	0.4	4.2	0.0	0.7	0.0	Canal
30	TULUÁ	CAVI	7.3	0.5	2.5	2.2	0.1	2.6	3.8	0.0	0.7	2.9	Río Tuluá
31		CAVI	7.8	0.4	2.2	2.1	0.1	2.6	3.4	0.0	0.8	2.8	Río Tuluá

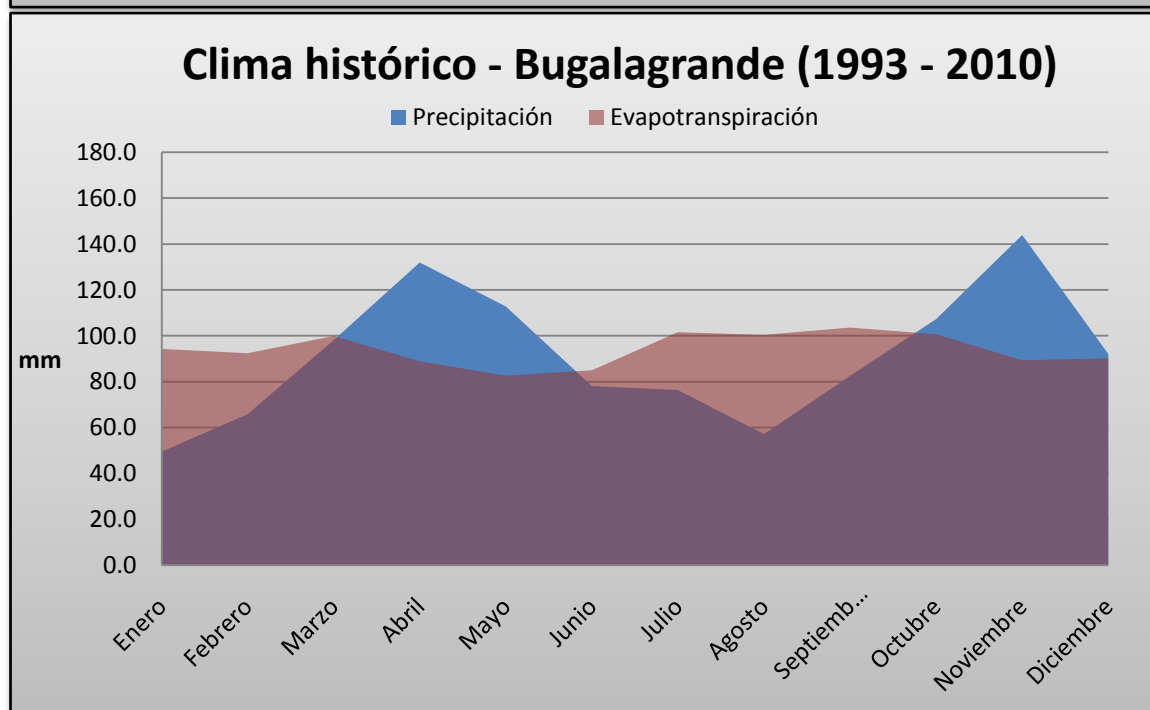
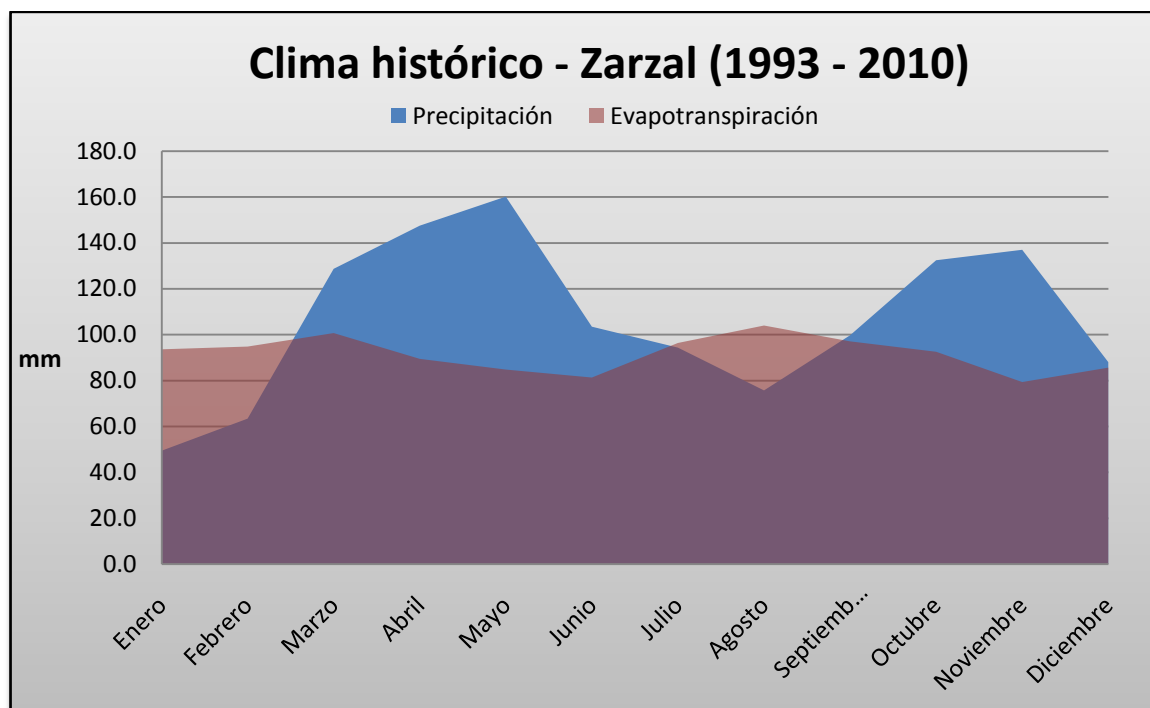
32		LA MARGARITA CRUZ	7	0.5	2.7	1.4	0.1	2.7	4.2	0.0	0.6	2.2	Río Tuluá
33		EL DIAMANTE	7	0.2	1.9	0.9	0.0	2.4	2.6	0.0	0.2	2.5	Río
34		CHUNDULAR	7.8	0.5	3.2	2.8	0.1	2.6	5.8	0.0	0.3	2.7	Río
35		EL DELIRIO	7	0.2	1.9	1.0	0.1	2.3	2.8	0.0	0.3	2.3	Pozo
36		PRIMAVERA	7.1	0.3	2.5	1.8	0.0	2.4	4.6	0.0	0.3	1.8	Pozo
37		MALLORCA	7.3	0.2	2.2	1.2	0.0	2.4	3.2	0.0	0.1	2.5	Pozo
38		SAN IGNACIO	7	0.5	3.3	2.4	0.0	2.6	5.8	0.0	0.5	2.0	Pozo
39		ESMERALDA	6.5	0.2	2.1	1.1	0.0	2.4	2.8	0.0	0.2	2.6	Pozo
40		BALLESTEROS	7.7	0.2	1.7	0.8	0.0	2.3	1.8	0.0	0.5	2.5	Río Tuluá
41		BALLESTEROS	7.4	0.3	2.5	1.5	0.0	2.4	4.0	0.0	0.2	2.3	Río Tuluá
42		SILENCIO	7.5	0.1	2.3	1.1	0.0	2.3	2.8	0.0	0.3	2.6	Río Tuluá
43		DANUBIO	6.3	0.7	5.1	3.5	0.0	2.6	8.2	0.0	0.2	2.8	Río
44		SAN DIEGO	7.1	0.6	4.3	3.0	0.1	2.6	7.0	0.0	0.3	2.6	Río
45	SANPEDRO	ARGELIA	7.5	0.2	2.0	1.1	0.0	2.6	2.6	0.0	0.3	2.8	Río Tuluá
46		RANCHO GRANDE	7.6	0.4	2.8	1.7	0.0	2.8	3.8	0.0	0.2	3.2	Río Tuluá
47		MARIA C.PALAU	6.9	0.8	4.6	4.4	0.0	2.6	9.2	0.0	0.5	1.9	Pozo
48		CHAMBIMBAL	7.6	0.8	3.5	2.0	0.0	2.4	8.2	0.0	0.9	0.0	Río
49		CHAMBIMBAL	7	1.7	6.0	6.3	0.1	4.5	13.8	0.0	0.6	2.5	Río
50		CHAMBIMBAL	6.7	1.7	6.2	6.4	0.1	4.6	13.0	0.0	0.2	4.0	Río
51		LA ESMERALDA	7.6	0.3	1.3	0.9	0.1	0.6	3.0	0.0	0.5	0.0	Río
52		EL REFLEJO	7.4	0.3	1.1	0.5	0.1	0.8	4.0	0.0	1.1	0.0	Guadalajara
53		EL JAPON	8.2	0.3	1.3	0.5	0.1	0.8	3.2	0.0	0.6	0.0	Río
54		EL SAMAN	6.8	0.2	1.4	1.1	0.0	0.4	2.0	0.0	0.7	0.1	Guadalajara
55		PALOBLANCO ARANGO	6.5	1.0	2.5	1.0	0.2	4.1	4.2	0.0	3.6	0.0	Residual
56		SAN JUANITO	6.6	0.2	1.1	0.7	0.0	0.5	1.6	0.0	0.6	0.1	Río Cauca
57		TIACUANTE	6.4	0.7	1.3	0.5	0.5	2.7	4.2	0.0	2.0	0.0	Residual
58		TIACUANTE	7.9	0.6	3.0	1.8	0.1	1.1	4.6	0.0	0.7	0.7	Río
59		SAN JUANITO	6.4	0.2	1.1	0.7	0.0	0.4	2.4	0.0	0.6	0.0	Guadalajara
60	BUGA	SAN JOSE GARCES	6.8	0.3	1.7	0.9	0.0	0.8	4.0	0.0	0.4	0.0	Pozo
61		LA FORTALEZA	6.9	0.1	1.4	0.6	0.0	0.2	2.0	0.0	0.3	0.0	Río
62		LA FORTALEZA	6.9	0.1	0.9	0.5	0.0	0.2	1.8	0.0	0.2	0.0	Guadalajara
63		STA MONICA C	6.8	0.7	3.2	2.2	0.0	1.7	8.2	0.0	0.0	0.0	Pozo

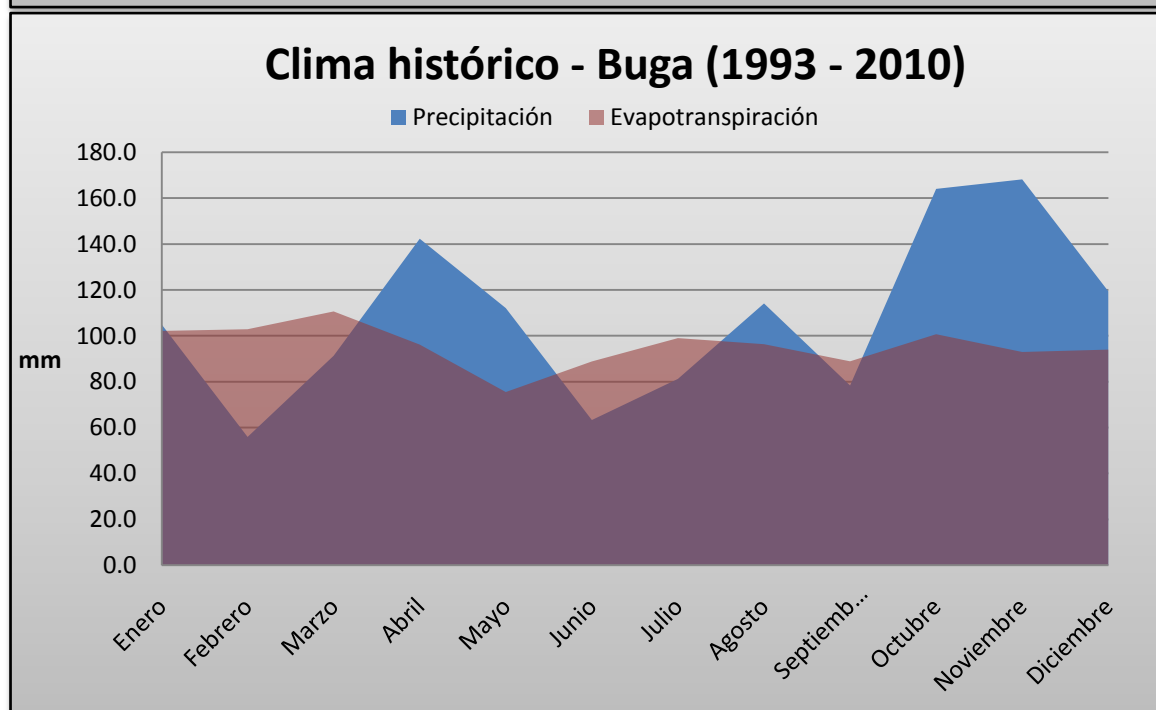
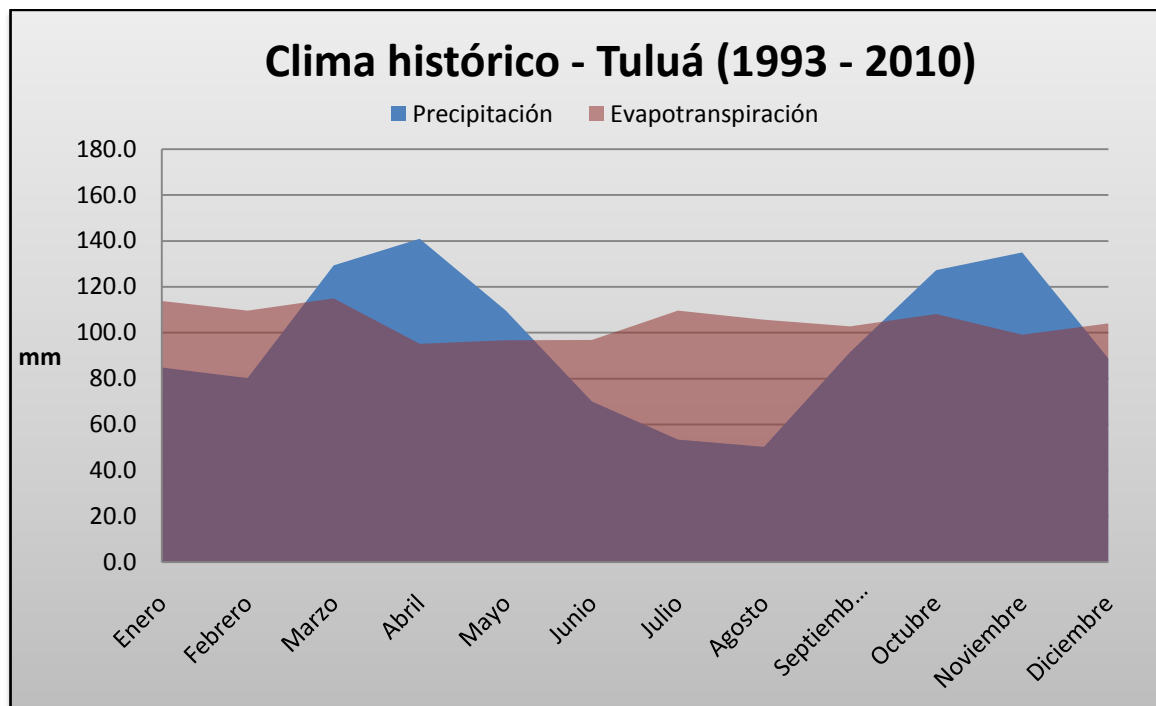
64		ANDALUCIA II	6.8	0.8	3.3	2.3	0.0	2.7	7.2	0.0	0.5	0.6	Río Sonso
65		EL GUAYABITO	7.2	0.5	2.6	2.2	0.0	0.4	5.8	0.0	0.0	0.0	Río Sonso
66		SANTA ANA	6.5	0.6	3.1	3.0	0.0	0.6	7.4	0.0	0.3	0.0	Pozo
67		LA ESPERANZA	7.3	0.7	3.5	3.6	0.0	0.6	9.2	0.0	0.4	0.0	Río
68		SANTA ANA	6.5	0.6	2.6	2.4	0.0	0.4	7.0	0.0	0.3	0.0	Río
69		PATEMONO	7.4	0.3	2.3	0.8	0.0	3.1	4.2	0.0	0.5	1.6	Pozo
70	GUACARI	ALBANIA	7.2	0.7	4.2	3.5	0.0	0.6	8.4	0.0	0.6	0.0	Río
71		TESORITO	7.2	0.4	2.1	2.0	0.0	0.4	5.6	0.0	0.1	0.0	Pozo
72		LA JULIA 2	7.3	0.5	2.9	1.5	0.0	0.2	6.4	0.0	0.2	0.0	Residual
73		LA ESTANCIA	8.2	0.7	4.0	2.8	0.1	0.6	7.0	0.0	0.6	0.0	Residual
74		SAN RAFAEL CANANGUA 2	7.2	0.6	4.0	2.8	0.1	0.6	7.2	0.0	0.7	0.0	Residual
75		PALO ALTO ABADIA	8.1	0.3	1.4	0.3	0.0	3.4	2.8	0.0	0.7	1.6	Pozo
76		BUENOS AIRES	6.7	0.5	3.8	1.9	0.0	0.5	6.6	0.0	0.5	0.0	Pozo
77		CHAMBERY GUABAS	7.1	0.5	3.8	2.2	0.0	0.4	7.0	0.0	0.5	0.0	Pozo
78		LA MARGARITA	7.6	0.5	3.2	2.6	0.0	0.3	6.2	0.0	0.5	0.0	Río Guabas
79		MONTEOSCURO LOTE 1	6.8	0.5	4.0	2.3	0.0	0.5	6.6	0.0	0.6	0.0	Pozo
80	EL CERRITO	EL PALMAR PAYERAS	7.1	0.3	2.3	1.7	0.0	0.3	4.4	0.0	0.5	0.0	Río Zabaletas
81		SAN MIGUEL 2	7.2	0.5	5.3	1.3	0.0	1.1	7.2	0.0	0.4	0.2	Pozo
82		SAN MIGUEL 2	7.2	0.9	5.4	3.5	0.0	1.8	9.8	0.0	0.6	0.3	Río
83		SAN CARLOS	6.3	0.7	8.2	1.7	0.0	1.2	8.2	0.0	0.2	2.8	Pozo
84		CANELO # 1	8	0.6	5.8	1.4	0.0	1.4	8.2	0.0	1.4	0.0	Pozo
85		CASABLANCA 2	7.3	0.6	3.6	1.1	0.0	0.7	6.4	0.0	1.0	0.0	Pozo
86		MILAN	8.1	0.5	4.2	1.8	0.0	0.7	5.2	0.0	0.7	0.9	Río Cerrito
87		LA INSULA	7.9	0.7	3.5	1.7	0.0	1.1	8.4	0.0	0.5	0.0	Pozo
88		LA TRIBUNA	7.9	0.7	4.8	2.3	0.0	1.3	8.6	0.0	0.5	0.0	Pozo
89		SAN FERNANDO	8.1	1.0	3.2	1.6	0.1	3.7	5.6	0.0	5.0	0.0	Río Cerrito
90		SAN FERNANDO	7.2	0.9	6.3	3.8	0.0	0.8	9.0	0.0	0.6	1.2	Pozo
91		LA ESPERANZA SERNA	7.8	0.5	3.2	2.1	0.0	1.2	5.6	0.0	0.3	0.7	Pozo
92		GENOVA	7.3	0.6	4.6	1.3	0.0	1.0	7.4	0.0	0.3	0.0	Pozo
93		MILAN	8	0.8	4.3	2.4	0.0	1.1	8.4	0.0	0.6	0.0	Pozo
94		MARSELLA	8.1	0.4	2.5	1.5	0.0	1.2	5.0	0.0	0.1	0.2	Río Amaime
95		TURIN	6.5	0.6	4.5	0.7	0.0	0.9	7.0	0.0	0.4	0.0	Pozo
96		ROSALIA	7.3	0.6	4.1	1.0	0.0	0.9	7.0	0.0	0.4	0.0	Pozo
97		LA VEGA RESTREPO	7.5	0.5	4.0	1.1	0.0	1.0	6.2	0.0	0.3	0.0	Pozo
98		GENOVA	7.8	0.6	5.1	1.2	0.0	0.9	7.4	0.0	0.2	0.0	Pozo

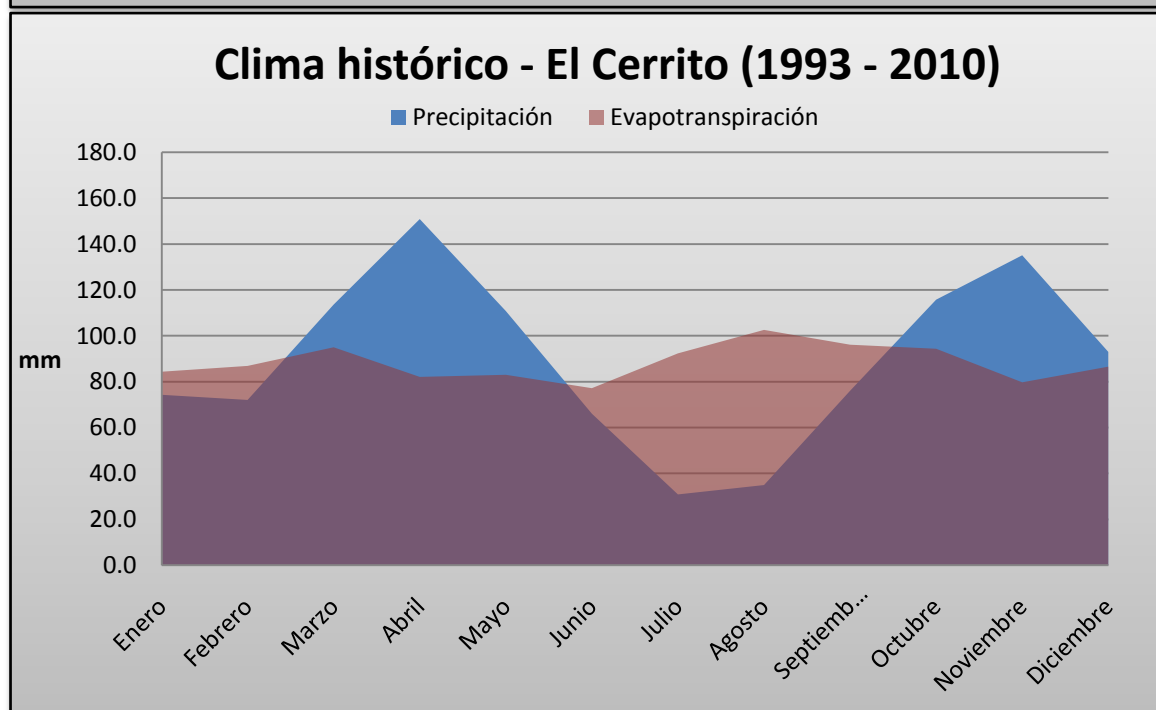
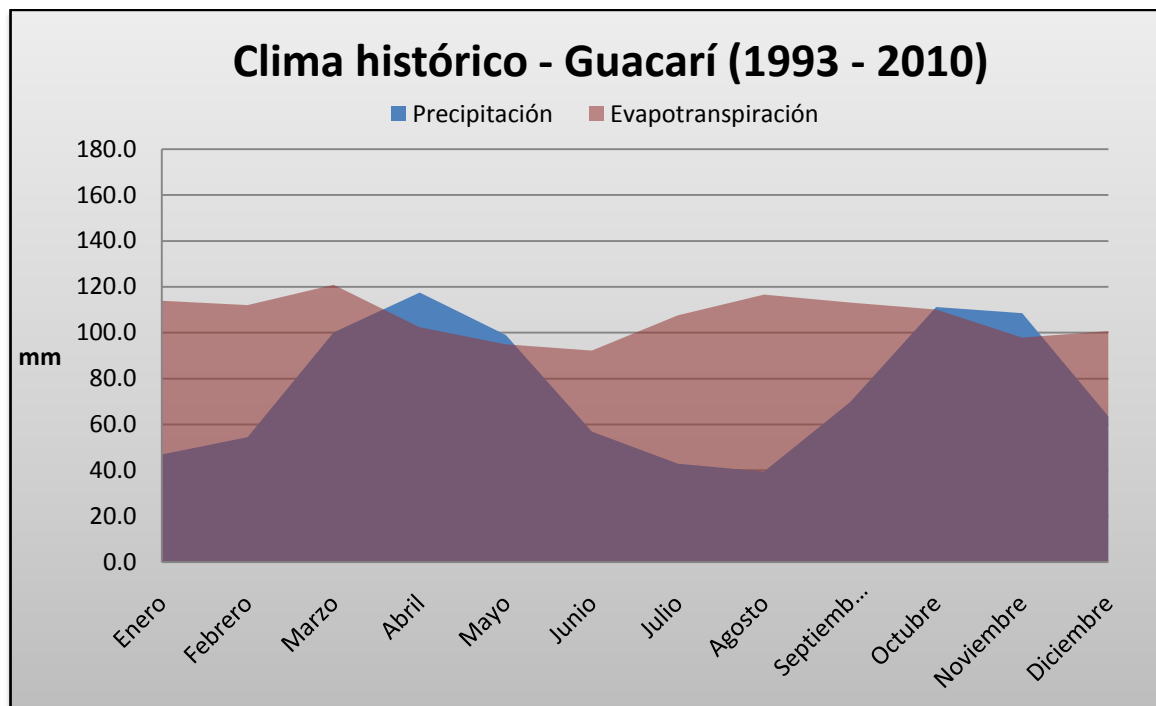
99		SANTA RITA	7	0.6	6.1	1.3	0.0	0.7	7.8	0.0	0.3	0.0	Pozo
----	--	------------	---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

Anexo C: Base de datos y gráficas complementarias del clima de la zona de estudio

Municipio	Información climática mensual histórica por municipio (mm)													
	Zarzal		Bugalagrande		Tuluá		San Pedro		Buga		Guacarí		El Cerrito	
	SUP	DEF	SUP	DEF	SUP	DEF	SUP	DEF	SUP	DEF	SUP	DEF	SUP	DEF
Enero		-44.2		-44.8		-29.0			2.9			-67.0		-10.1
Febrero		-31.4		-26.6		-29.4				-46.9		-57.6		-14.8
Marzo	28.0			-1.8	14.4					-19.3		-20.7	18.6	
Abril	58.0		43.1		45.8				46.1		15.1		68.8	
Mayo	75.4		30.2		12.9				36.6		4.1		27.8	
Junio	22.2			-6.9		-26.8				-25.5		-35.3		-11.1
Julio		-2.0		-25.2		-56.2				-17.8		-64.7		-61.5
Agosto		-28.3		-43.2		-55.4			17.7			-77.1		-67.6
Septiembre	2.7			-21.1		-11.2				-10.5		-43.4		-20.1
Octubre	39.9		6.6		19.1				63.3		1.1		21.4	
Noviembre	57.6		54.6		35.9				75.2		10.6		55.4	
Diciembre	2.4		1.9			-15.2			25.4			-37.1	6.4	







Anexo D: Base de datos del drenaje de la zona de estudio

Punto	Municipio	Hacienda	Infiltración (mm/h)	Nivel freático	Subíndice g	Prof. (cm)
0	ZARZAL	LAS LAJAS	43	No		
1		LAS LAJAS	9	Si	si	25
2		EL PLACER	33	Si	si	25
3		COROZAL	28	Si		
4		EL PLACER	108	Si		
5		SANTA MARTA NORTE	38	Si	si	25
6		LA LUISA	247	No		
7		COLON	26	No		
8		LA LUISA	235	Si		
9		LA LUISA	102	Si	si	25
10	BUGA LA GRANDE	RIOPAILA	34	No		
11		EL GUABITO	135	Si	si	25
12		RIOPAILA	105	Si		
13		EL GUABITO	133	Si		
14		VENECIA	33	Si		
15		EL GUABITO	98	Si	si	25
16		VENECIA	94	Si	si	25
17		PERALONSO	91	Si	si	25
18		NORMANDIA	87	Si	si	25
19		VALPARAISO	83	No		
20		NORMANDIA	79	Si	si	25
21		EL GOLFO	76	Si	si	25
22		NORMANDIA	72	Si	si	25
23		POTOSI GOLFO	68	Si	si	25
24		STA ROSA	58	Si	si	25
25		POTOSI GOLFO	49	Si	si	25
26		SAN NICOLAS	39	Si		
27		SAMARIA	30	Si		
28		LA ESPERANZA Y OTRO	36	Si		
29		LUCERNA BOGOTA	41	Si	si	25
30	TULUA	CAVI	47	No		
31		CAVI	196	No		
32		LA MARGARITA CRUZ	43	No		
33		EL DIAMANTE	208	No	si	107

34		CHUNDULAR	32	No		
35		EL DELIRIO	141	No	si	107
36		PRIMAVERA	9	No	si	107
37		MALLORCA	29	Si		
38		SAN IGNACIO	36	No	si	107
39		ESMERALDA	41	Si		
40		BALLESTEROS	135	No	si	130
41		BALLESTEROS	193	Si		
42		SILENCIO	28	No		
43		DANUBIO	10	No		
44		SAN DIEGO	143	No	si	107
45	SANPEDRO	ARGELIA	202	Si	si	25
46		RANCHO GRANDE	28	Si	si	25
47		MARIA C.PALAU	24	Si	si	25
48		CHAMBIMBAL	108	Si		
49		CHAMBIMBAL	602	Si		
50		CHAMBIMBAL	610	Si		
51		LA ESMERALDA	1143	Si		
52		EL REFLEJO	183	Si		
53		EL JAPON	186	Si		
54		EL SAMAN	36	Si		
55		PALOBLANCO				
56		ARANGO	352	No		
57		SAN JUANITO	96	No		
58		TIACUANTE	54	No		
59		TIACUANTE	416	No		
60	BUGA	SAN JUANITO	147	No		
61		SAN JOSE GARCES	47	No		
62		LA FORTALEZA	28	Si		
63		LA FORTALEZA	38	Si	si	25
64		STA MONICA C	33	Si	si	25
65		ANDALUCIA II	195	Si		
66		EL GUAYABITO	56	Si		
67		SANTA ANA	366	No		
68		LA ESPERANZA	295	Si		
69		SANTA ANA	247	Si		
70	GUACAR -	PATEMONO	213	Si		
		ALBANIA	177	Si		

71		TESORITO	195	Si		
72		LA JULIA 2	26	Si		
73		LA ESTANCIA	214	Si		
74		SAN RAFAEL CANANGUA 2	457	No		
75		PALO ALTO ABADIA	29	Si		
76		BUENOS AIRES	269	No		
77		CHAMBERY GUABAS	241	No	si	107
78		LA MARGARITA	339	No	si	130
79		MONTEOSCURO LOTE 1	22	No	si	130
80	EL CERRITO	EL PALMAR PAYERAS	41	Si		
81		SAN MIGUEL 2	235	Si		
82		SAN MIGUEL 2	20	No	si	107
83		SAN CARLOS	28	No		
84		CANELO # 1	102	Si		
85		CASABLANCA 2	241	Si		
86		MILAN	34	No		
87		LA INSULA	127	Si		
88		LA TRIBUNA	144	No	si	107
89		SAN FERNANDO	8	No		
90		SAN FERNANDO	104	Si		
91		LA ESPERANZA SERNA	135	Si		
92		GENOVA	105	Si		
93		MILAN	75	No	si	130
94		MARSELLA	133	No	si	130
95		TURIN	26	No	si	130
96		ROSALIA	99	No	si	130
97		LA VEGA RESTREPO	101	Si		
98		GENOVA	33	Si		
99		SANTA RITA	213	Si		

Anexo E: Base de datos completa de los resultados arrojados por el modelo

Punto	Municipio	Hacienda	Modelo PLA			Real		
			C.E (dS/m)	Calificación	RAS	Max C.E (dS/m)	Calificación	Max RAS
0	ZARZAL	LAS LAJAS	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-No sódico	0.6
1		LAS LAJAS	< 2	No salino-No sódico	< 3	1.5	No salino-No sódico	1.3
2		EL PLACER	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-No sódico	0.7
3		COROZAL	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.1	No salino-No sódico	1.3
4		EL PLACER	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.1	No salino-No sódico	2.5
5		SANTA MARTA NORTE	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.4	No salino-Lig. Sódico	6.3
6		LA LUISA	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.1	No salino-No sódico	1.1
7		COLON	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-No sódico	1.4
8		LA LUISA	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.1	No salino-No sódico	1.1
9		LA LUISA	< 2	No salino-No sódico	< 3	1.8	Lig. salino-Lig. Sódico	3.1
10	BUGA LA GRANDE	RIOPAILA	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.1	No salino-No sódico	1.0
11		EL GUABITO	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-No sódico	1.8
12		RIOPAILA	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.3	No salino-No sódico	1.8
13		EL GUABITO	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.8	No salino-No sódico	2.2
14		VENECIA	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-No sódico	2.1
15		EL GUABITO	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.9	No salino-No sódico	2.3
16		VENECIA	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.5	No salino-No sódico	2.5
17		PERALONSO	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.3	No salino-Lig. Sódico	4.3
18		NORMANDIA	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-No sódico	1.4
19		VALPARAISO	< 2	No salino-No sódico	< 3	1.6	Lig. salino-Lig. Sódico	6.8
20		NORMANDIA	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.5	No salino-No sódico	1.6
21		EL GOLFO	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.3	No salino-No sódico	2.0
22		NORMANDIA	< 2	No salino-No sódico	< 3	1.4	No salino-Lig. Sódico	4.6
23		POTOSI GOLFO	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-No sódico	2.3
24		STA ROSA	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.3	No salino-Lig. Sódico	8.5
25		POTOSI GOLFO	> 2 - < 4	No salino-Lig. Sódico	> 3	0.1	No salino-No sódico	1.5
26		SAN NICOLAS	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.3	No salino-Lig. Sódico	3.1
27		SAMARIA	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-No sódico	2.7

28		LA ESPERANZA Y OTRO	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-No sódico	1.2
29		LUCERNA BOGOTA	> 2 - < 4	No salino-Lig. Sódico	> 3	0.3	No salino-No sódico	2.4
30	TULUA	CAVI	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-No sódico	0.8
31		CAVI	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.4	No salino-No sódico	0.9
32		LA MARGARITA CRUZ	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.3	No salino-No sódico	1.1
33		EL DIAMANTE	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-No sódico	0.6
34		CHUNDULAR	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-No sódico	1.8
35		EL DELIRIO	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-No sódico	1.0
36		PRIMAVERA	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-No sódico	1.1
37		MALLORCA	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.3	No salino-No sódico	0.6
38		SAN IGNACIO	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-No sódico	0.8
39		ESMERALDA	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-No sódico	0.8
40		BALLESTER OS	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-No sódico	1.6
41		BALLESTER OS	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-Lig. Sódico	4.0
42		SILENCIO	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-No sódico	1.2
43		DANUBIO	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.3	No salino-No sódico	1.0
44		SAN DIEGO	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.1	No salino-No sódico	1.3
45	SANPEDRO	ARGELIA	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.1	No salino-No sódico	1.8
46		RANCHO GRANDE	> 2 - < 4	No salino-Lig. Sódico	> 3	0.1	No salino-No sódico	0.5
47		MARIA C.PALAU	> 2 - < 4	No salino-Lig. Sódico	> 3	0.1	No salino-No sódico	1.5
48		CHAMBIMBA L	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-Lig. Sódico	6.0
49		CHAMBIMBA L	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-Lig. Sódico	7.8
50		CHAMBIMBA L	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-Lig. Sódico	6.3
51		LA ESMERALDA	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.5	No salino-Lig. Sódico	9.7
52		EL REFLEJO	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-No sódico	2.2
53		EL JAPON	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.3	No salino-Lig. Sódico	9.6
54		EL SAMAN	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.3	No salino-No sódico	1.2
55		PALOBLANC O ARANGO	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.3	No salino-Lig. Sódico	5.9
56		SAN JUANITO	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.1	No salino-No sódico	1.3

57		TIACUANTE	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.1	No salino-No sódico	1.9
58		TIACUANTE	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-No sódico	0.9
59		SAN JUANITO	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.1	No salino-No sódico	2.2
60	BUGA	SAN JOSE GARCES	< 2	No salino-No sódico	< 3	1.0	No salino-No sódico	1.0
61		LA FORTALEZA	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.1	No salino-No sódico	1.1
62		LA FORTALEZA	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-No sódico	2.0
63		STA MONICA C	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.8	No salino-No sódico	2.0
64		ANDALUCIA II	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.4	No salino-No sódico	1.3
65		EL GUAYABITO	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-No sódico	1.3
66		SANTA ANA	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.3	No salino-No sódico	1.2
67		LA ESPERANZA	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-No sódico	0.8
68		SANTA ANA	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.3	No salino-No sódico	0.7
69		PATEMONO	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-No sódico	2.0
70	GUACARI	ALBANIA	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.3	No salino-No sódico	0.6
71		TESORITO	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.3	No salino-No sódico	0.5
72		LA JULIA 2	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.5	No salino-No sódico	2.4
73		LA ESTANCIA	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.3	No salino-No sódico	0.7
74		SAN RAFAEL CANANGUA 2	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.3	No salino-No sódico	1.3
75		PALO ALTO ABADIA	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.3	No salino-No sódico	1.7
76		BUENOS AIRES	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.3	No salino-No sódico	0.6
77		CHAMBERY GUABAS	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.5	No salino-No sódico	0.4
78		LA MARGARITA	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-No sódico	0.9
79		MONTEOSC URO LOTE 1	> 2 - < 4	No salino-Lig. Sódico	> 3	0.3	No salino-No sódico	0.8
80	EL CERRITO	EL PALMAR PAYERAS	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.5	No salino-No sódico	0.7
81		SAN MIGUEL 2	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.3	No salino-No sódico	2.9
82		SAN MIGUEL 2	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.3	No salino-Lig. Sódico	3.8
83		SAN CARLOS	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.7	No salino-No sódico	1.2
84		CANELO # 1	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-Lig. Sódico	4.8

85	CASABLANC A 2	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.4	No salino-No sódico	1.8
86	MILAN	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-No sódico	1.5
87	LA INSULA	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-No sódico	1.9
88	LA TRIBUNA	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-No sódico	0.9
89	SAN FERNANDO	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.4	No salino-No sódico	1.3
90	SAN FERNANDO	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.3	No salino-No sódico	0.7
91	LA ESPERANZA SERNA	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-No sódico	2.0
92	GENOVA	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-Lig. Sódico	7.5
93	MILAN	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.3	No salino-No sódico	0.8
94	MARSELLA	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.4	No salino-No sódico	0.8
95	TURIN	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-No sódico	0.6
96	ROSALIA	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-No sódico	0.6
97	LA VEGA RESTREPO	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-No sódico	1.0
98	GENOVA	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.2	No salino-No sódico	0.9
99	SANTA RITA	< 2	No salino-No sódico	< 3	0.1	No salino-No sódico	1.2